



UNIVERSIDAD TÉCNICA  
FEDERICO SANTA MARÍA

Departamento de Obras Civiles

**ANÁLISIS CUALITATIVO DE LA FACTIBILIDAD DEL  
USO DE IOT EN EL MONITOREO DE  
INFRAESTRUCTURA VIAL, SANITARIA Y DRENAJE  
DE AGUAS LLUVIAS PARA LA GESTIÓN  
INTEGRADA DE INFRAESTRUCTURA EN CHILE.**

Memoria de Título presentada por

**Max Linhart Ketterer Sanhueza**

como requisito parcial para optar al título de la carrera de

**Ingeniería Civil**

Profesor Guía  
Felipe Andrés Araya Araya

Abril de 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:** ANÁLISIS CUALITATIVO DE LA FACTIBILIDAD DEL USO DE IOT EN EL MONITOREO DE INFRAESTRUCTURA VIAL, SANITARIA Y DRENAJE DE AGUAS LLUVIAS PARA LA GESTIÓN INTEGRADA DE INFRAESTRUCTURA EN CHILE

**Nombre del candidato(a):** MAX LINHART KETTERER SANHUEZA

**Carrera / Grado:** INGENIERIA CIVIL

**Campus:** CASA CENTRAL **Departamento:** OBRAS CIVILES

### 2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, FELIPE ANDRES ARAYA ARAYA, 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:** Felipe Araya

**Fecha:** 11-05-2026 **Firma:** \_\_\_\_\_

**Estudiante o Candidato(a):**

**Fecha:** 11-05-2026 **Firma:** \_\_\_\_\_



UNIVERSIDAD TECNICA  
FEDERICO SANTA MARIA

TITULO DE LA MEMORIA:

**ANÁLISIS CUALITATIVO DE LA FACTIBILIDAD DEL USO DE IOT EN EL MONITOREO DE INFRAESTRUCTURA VIAL, SANITARIA Y DRENAJE DE AGUAS LLUVIAS PARA LA GESTIÓN INTEGRADA DE INFRAESTRUCTURA EN CHILE.**

AUTOR:

**MAX LINHART KETTERER SANHUEZA**

TRABAJO DE MEMORIA, presentado como requisito parcial para optar al título de la carrera de INGENIERIA CIVIL de la Universidad Técnica Federico Santa María.

	<u>Nombre</u>	<u>Firma</u>
Prof. Guía	Felipe Araya Araya	.....
Miembro 1 Comisión	Marcelo Bravo Fortune	.....

Valparaíso, Chile, abril de 2026



## Agradecimientos

Quiero expresar mis sinceros agradecimientos a todas las personas que hicieron posible la realización de esta memoria de título, la cual representa la etapa final para convertirme en ingeniero civil.

Agradezco profundamente a mi familia. Primero a mis padres, Verónica y Jaime, por siempre creer en mí, amarme incondicionalmente, dejarme volar y darme la oportunidad de estudiar en esta universidad alejada de casa. Gracias a Katherine y Walter, mis hermanos, que a pesar de la distancia siempre pude contar con su apoyo. A mis tíos de Valpo, Héctor e Ivonne, que me recibieron los primeros años de universidad en su casa. Y a toda mi familia que siempre estuvo ahí dándome ánimo para seguir adelante, sobre todo mi abuela Yolanda y los Sanhueza Sáez.

Al cuerpo docente del departamento de obras civiles, especialmente al profesor Felipe Araya, que me ayudó a definir el tema de esta memoria y fue mi guía durante todo el proceso. Gracias a los profesores y profesionales que me ayudaron a conseguir contactos para realizar las entrevistas y, por supuesto, a todos los entrevistados.

Infinitas gracias a mis amigos, los que siguen en contacto desde el colegio y los que conocí durante la vida universitaria, con los que pasé los mejores años de mi vida. Estoy muy agradecido de haber podido mostrarme tal cual soy con ustedes sin miedo a ser juzgado, de poder ser el loco Max y al mismo tiempo un castroso. Gracias por todo el apoyo y apañe, las risas, los viajes, las juntas de estudio, los carretes, los completos del nony y del xl, por estar en las buenas y en las malas. A cada uno de ustedes, gracias por formar parte de este camino y espero seguir creando anécdotas juntos.

También, agradezco a todas las personas que conocí a lo largo de estos años de formación, quienes de una u otra forma contribuyeron a mi desarrollo personal y profesional durante estos años.

# **ANÁLISIS CUALITATIVO DE LA FACTIBILIDAD DEL USO DE IOT EN EL MONITOREO DE INFRAESTRUCTURA VIAL, SANITARIA Y DRENAJE DE AGUAS LLUVIAS PARA LA GESTIÓN INTEGRADA DE INFRAESTRUCTURA EN CHILE.**

Max Ketterer Sanhueza<sup>1</sup>, Felipe Araya Araya<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Técnica Federico Santa María

Abril 2026

## **Resumen**

Esta investigación analiza la factibilidad del uso de Internet de las Cosas (IoT) en el monitoreo de infraestructura vial, sanitaria y de drenaje de aguas lluvias en Chile, en el marco de la Gestión Integrada de Infraestructura (GII) y la Industria 4.0. El estudio se desarrolla bajo un enfoque exploratorio y de carácter cualitativo, que combina la revisión de literatura nacional e internacional con la aplicación de 16 entrevistas semiestructuradas a profesionales del sector público y privado vinculados a la gestión, operación y mantenimiento de las infraestructuras mencionadas.

Los resultados evidencian que el monitoreo de los sistemas de infraestructura se caracteriza por un enfoque reactivo, sustentado en inspecciones visuales y respuestas ante fallas, con deficiencias en la disponibilidad, calidad y gestión de la información. Además, se identifica una mala coordinación entre las agencias que interactúan en el contexto urbano, fortaleciendo lo planteado por autores anteriores sobre los desafíos que dificultan la implementación de estrategias de gestión integrada. En este escenario, el IoT ha sido explorado por agencias del sector de la construcción y se posiciona como una tecnología de la Industria 4.0 con alto potencial para mejorar la obtención, almacenamiento e intercambio de datos en tiempo real, habilitar estrategias de mantenimiento predictivo y apoyar la toma de decisiones de manera integrada entre agencias. Sin embargo, su adopción enfrenta diversas barreras, entre las que destacan restricciones técnicas, organizacionales y culturales que deben ser abordadas para avanzar hacia la gestión integrada de infraestructuras.

Palabras claves: Internet de las Cosas (IoT), Gestión Integrada de Infraestructura (GII), Construcción 4.0, Mantenimiento Predictivo, Análisis Cualitativo.

## **Glosario**

BIM: Building Information Modeling / Modelado con Información de Construcción.

DOH: Dirección de Obras Hidráulicas.

DV: Dirección de Vialidad.

ESS: Empresas de Servicios Sanitarios.

FM: Facility Management / Gestión de instalaciones.

Gateways: Dispositivo de enlace.

GII: Gestión Integrada de Infraestructura.

GORE: Gobierno Regional.

IoT: Internet of Things / Internet de las cosas.

LIDAR: Light Detection and Ranging / Detección y Localización por Luz.

LoRaWAN: Long Range Wide Area Network / Red de Área Amplia de Largo Alcance.

MINVU: Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

MOP: Ministerio de Obras Públicas.

PIB: Producto Interno Bruto.

SERVIU: Servicio de Vivienda y Urbanización.

SISS: Superintendencia de Servicios Sanitarios.

WSN: Wireless Sensor Networks / Sensores inalámbricos.

# Índice

1	Introducción .....	7
2	Marco Teórico .....	8
2.1	Gestión de Infraestructura .....	8
2.2	Gestión Integrada de Infraestructura .....	8
2.3	Industria 4.0 .....	9
2.4	Internet de las Cosas .....	10
2.5	IoT en Infraestructura.....	11
2.6	IoT en infraestructura en Chile.....	12
2.7	Oportunidad de investigación.....	14
3	Objetivos .....	14
3.1	Objetivo General .....	14
3.2	Objetivos Específicos.....	14
4	Metodología .....	15
4.1	Recopilación de datos .....	15
4.2	Análisis cualitativo.....	16
4.3	Limitaciones.....	24
5	Resultados .....	24
6	Discusión.....	27
6.1	Diagnóstico actual del monitoreo de la infraestructura .....	27
6.2	Diagnóstico gestión integrada de infraestructura.....	28
6.3	Factores habilitadores y limitantes para implementar IoT .....	29
6.4	Discusión integradora de resultados .....	31
6.5	Contribuciones teóricas y prácticas .....	32
7	Conclusiones y recomendaciones .....	33
8	Referencias.....	35
9	Anexo.....	38

# 1 Introducción

Actualmente, el mundo convive con la denominada Industria 4.0, una etapa marcada por la integración de nuevas tecnologías digitales que han transformado diversos sectores productivos mediante la interconexión de sistemas físicos y virtuales. Sin embargo, la industria de la construcción se muestra reacia a incorporar tecnologías innovadoras, operando con prácticas poco actualizadas y tasas de productividad menores que otras industrias (Maskuriy et al., 2019). En el mundo, países como China y Estados Unidos lideran la investigación en Construcción 4.0, mientras que Latinoamérica presenta una brecha significativa, invirtiendo en promedio solo un 0,8% del PIB en investigación y desarrollo, frente al 2,8% de Estados Unidos y el 2,2% de China (Osorio et al., 2023). La modernización en la gestión de activos es un desafío importante, considerando que los costos de operación y mantenimiento representan entre el 50 y el 70% del costo anual de una infraestructura (Mannino et al., 2021).

Para la gestión de la construcción, Yang et al. (2018) agrupan las actividades y recursos necesarios, donde se mencionan: políticas, estrategias y objetivos; recursos humanos; sistemas de información y base de datos; monitoreo de condición y evaluación de desempeño; análisis de riesgo e identificación de criticidad y; operación, mantenimiento y planes de inversión de capital. El problema, en el contexto de infraestructura urbana, es que los sistemas de infraestructura poseen interdependencias, es decir, que el funcionamiento de uno afecta o depende del otro, por ejemplo, la rotura de una matriz puede desencadenar la destrucción de los pavimentos cercanos, generando problemas a la comunidad. Por lo tanto, la academia internacional y nacional se ha dedicado a estudiar lo que se conoce como Gestión Integrada de Infraestructura (GII), a través de modelos de gestión, por un lado, y determinando los desafíos existentes para lograr una gestión integrada entre sistemas, por el otro.

En Chile, Vásquez (2021) identifica los desafíos de la gestión integrada y las principales interdependencias entre sistemas de infraestructura vial, sanitaria y drenaje de aguas lluvias. También establece el estado de la práctica de la coordinación entre las agencias, encontrando ineficiencias que dificultan el desarrollo de la gestión integrada entre los sistemas urbanos que conviven bajo una gestión fragmentada y predominantemente reactiva frente a eventuales fallas. Dentro de los desafíos que se identifican para la gestión integrada de infraestructuras se puede destacar el mal acceso a una base de datos de la información y su respectiva obtención, además de la mejora del recurso humano.

Bajo este escenario, el Internet de las Cosas (IoT, del inglés Internet of Things) aparece como una tecnología de la Industria 4.0 con potencial para ser utilizada como herramienta para abordar el desafío de la gestión integrada referente a la obtención de información de las infraestructuras, por medio del monitoreo en tiempo real, ya que el IoT permite capturar datos mediante sensores y almacenarlos en la nube, dando oportunidad de facilitar el traspaso de información entre distintas agencias de infraestructura interdependientes y de realizar mantenimientos predictivos.

Esta investigación es del tipo exploratoria y propone determinar la factibilidad del uso de tecnologías IoT en el monitoreo de infraestructura vial, sanitaria y drenaje de aguas lluvias en Chile, considerando el estado de la práctica de las agencias pertinentes, respecto de los métodos utilizados para el monitoreo y la gestión de los sistemas de infraestructura, la percepción sobre la gestión integrada y la identificación de factores habilitantes y limitantes de adopción de tecnologías de la industria y la Construcción 4.0 en los procesos de gestión de infraestructuras, centrándose en el IoT, realizando entrevistas semiestructuradas a profesionales que desempeñan funciones vinculadas con la gestión de operación y mantenimiento. Los sistemas involucrados son elegidos ya que su relación de interdependencia ya ha sido estudiada en investigaciones previas (Vaquez, 2021; Abu-Samra et al., 2020; Shahata y Zayed, 2016). Finalmente, el propósito de esta investigación es identificar si el uso de esta tecnología puede actuar como habilitador de una gestión compartida que mejore la toma de decisiones que involucren en conjunto los sistemas de infraestructura mencionados, optimice los recursos públicos y mejore la calidad de vida de los usuarios.

## **2 Marco Teórico**

### **2.1 Gestión de Infraestructura**

La Gestión de Infraestructura se define, bajo el estándar ISO 55000, como la actividad coordinada de una organización para materializar el valor de sus activos a lo largo de su ciclo de vida (Yang et al., 2018). Por su parte, diversos manuales y guías internacionales, como el International Infrastructure Management Manual señalan que esta disciplina implica prácticas sistemáticas para entregar objetivos de servicio de forma óptima y sostenible mediante una gestión de costos eficiente. Estudiar la gestión de infraestructura es de vital importancia debido a que las etapas de operación y mantenimiento son las más extensas y costosas, representando gran parte del costo anual (Mannino et al., 2021).

La gestión de infraestructura suele estructurarse en tres niveles principales: estratégico, táctico y operativo (Transportation Officials, 2011). El nivel estratégico define las políticas institucionales, los objetivos de largo plazo y los niveles de servicio esperados para los distintos sistemas de infraestructura. A nivel táctico, las organizaciones desarrollan herramientas y procesos orientados a la planificación de mediano plazo, incluyendo la recopilación y gestión de información sobre el estado de los activos, el monitoreo de su condición y la evaluación de su desempeño. Finalmente, el nivel operativo corresponde a la ejecución de actividades de corto plazo, tales como la operación cotidiana de los sistemas, la planificación del mantenimiento y la implementación de decisiones de inversión.

Las actividades y recursos necesarios para la gestión han sido agrupadas por Yang et al. (2018) en seis categorías: (1) Políticas, estrategias y objetivos; (2) recursos humanos; (3) sistemas de información y base de datos, (4) monitoreo de condición y evaluación de desempeño; (5) análisis de riesgo e identificación de criticidad; (6) operación, mantenimiento y planes de inversión de capital.

En Chile, así como en los países de América Latina, es común encontrar que las agencias encargadas de la gestión de sistemas de infraestructura pública son deficientes y tienen prácticas desactualizadas (Antúnez y Galilea, 2003). En la práctica, las agencias de infraestructura urbana deberían velar por la correcta aplicación de los recursos y actividades mencionados anteriormente, sin embargo, Yang et al. (2018) advierten que, en contextos donde los sistemas de infraestructura se gestionan de forma aislada, se incrementan los conflictos operativos y reduce la eficiencia global del sistema urbano, dificultando una planificación coordinada entre servicios y de largo plazo.

### **2.2 Gestión Integrada de Infraestructura**

En los últimos años, la literatura ha estudiado cómo interactúan los distintos sistemas de infraestructura en las ciudades y ha identificado que estos pueden presentar diversos grados de interdependencia, es decir, que el funcionamiento de un sistema puede depender del comportamiento de otro. En este contexto, se distinguen cinco tipos principales de interdependencias: física, cibernética, geográfica, social y lógica (Setola et al., 2016). La física, ocurre cuando la operación de un sistema depende de los resultados físicos de otra; la cibernética, se presenta cuando hay dependencia de información; la geográfica, se refiere a la ubicación espacial de un sistema respecto de otro; la social, se refiere al comportamiento humano producto del funcionamiento de un sistema que puede afectar a otro; y la lógica, es aquella interdependencia que no puede ser clasificada como ninguna de las anteriores (Vásquez, 2021).

Las interdependencias entre sistemas también influyen en la forma en que se producen y propagan las fallas dentro de la infraestructura urbana. En este sentido, Rinaldi et al. (2001), además de definir las bases de las interdependencias, distinguen tres tipos de fallas asociadas a sistemas interdependientes: las fallas de escalada, que corresponden a procesos de amplificación entre causa y efecto; las fallas en cascada, que se caracterizan por un efecto dominó entre sistemas; y las fallas por causa común, que ocurren cuando un único evento disruptivo afecta simultáneamente a múltiples sistemas de infraestructura.

Debido a estas interdependencias, diversos autores han señalado la necesidad de avanzar hacia enfoques de gestión que consideren de manera conjunta los distintos sistemas de infraestructura urbana. El concepto de gestión integrada de infraestructura ha sido discutido en la literatura desde hace más de dos décadas (Lemer, 1998) y plantea la importancia de coordinar la planificación, operación y mantenimiento de los distintos sistemas con el fin de mejorar la eficiencia del sistema urbano. No obstante, su implementación ha sido limitada en muchos contextos, en parte debido a la diversidad de actores involucrados en las distintas fases y agencias de la gestión de infraestructura, lo que dificulta la coordinación institucional y la toma de decisiones en conjunto (Yazdani et al., 2014).

A raíz de las dificultades de implementación, algunos países han avanzado en la aplicación de enfoques de gestión integrada. En Canadá, por ejemplo, se ha desarrollado la InfraGuide, una guía metodológica que reúne buenas prácticas y herramientas para apoyar la planificación y gestión coordinada de los sistemas de infraestructura urbana (InfraGuide, 2003). Asimismo, diversos estudios han explorado metodologías y herramientas para implementar este enfoque en el contexto municipal, abordando aspectos como la priorización de inversiones, el análisis de riesgo y la planificación del mantenimiento de manera integrada (Abu-Samra et al., 2020; Halfawy, 2010; Shahata y Zayed, 2016).

Un aspecto central para la implementación de la gestión integrada es la disponibilidad de información confiable sobre los sistemas de infraestructura. Para coordinar adecuadamente la gestión de distintos sistemas es necesario conocer qué activos existen, cuál es su ubicación, cuál es su estado de condición y cuáles presentan mayor criticidad dentro del sistema urbano. Sin embargo, la recopilación y gestión de esta información constituye uno de los principales desafíos para las organizaciones responsables de infraestructura, especialmente en contextos donde los sistemas se gestionan de forma fragmentada o con bases de datos incompletas (Berglund et al., 2020).

En general, dentro de la literatura, se han desarrollado dos caminos para el estudio del concepto de gestión integrada: realizar modelos de gestión para identificar beneficios y determinar los desafíos existentes para la gestión integrada considerando distintos factores. Dentro del primer grupo de investigaciones, se puede ejemplificar la modelación basada en agentes realizada por Yazdani et al. (2015), donde se modelan las interdependencias y las interacciones entre los actores involucrados de distintos sistemas de infraestructura. En el segundo grupo, considerando el contexto chileno, se destacan investigaciones que determinan los desafíos de la integración de sistemas urbanos en el largo plazo considerando las interdependencias de determinados sistemas de infraestructura (Araya y Vasquez, 2022). En la misma línea de investigación, en su memoria de pregrado, a través de un análisis cualitativo de entrevistas, Vásquez (2021) identifica los desafíos para la gestión integrada de las infraestructuras vial, sanitaria y drenaje de aguas lluvias, obteniendo los siguientes cinco: (1) coordinación entre las agencias; (2) disminuir la cantidad de actores involucrados; (3) obtención de la información; (4) manejo y traspaso de la información; (5) mejorar el recurso humano.

### **2.3 Industria 4.0**

La Industria 4.0, también conocida como la cuarta revolución industrial, representa un nuevo esquema de producción que se basa en el uso de tecnologías digitales que permiten la interconexión entre sistemas físicos y digitales. Este concepto fue introducido en 2011 y se asocia con la creación de sistemas productivos inteligentes capaces de recopilar, procesar e intercambiar información en tiempo real a lo largo de la cadena valor (Rupp et al., 2021). Por lo tanto, la Industria 4.0 se caracteriza por la implementación de sistemas que combinan lo físico con lo digital, los cuales integran sensores, sistemas de comunicación y plataformas digitales para monitorear y controlar procesos industriales de manera automatizada.

El desarrollo de esta cuarta revolución industrial ha sido impulsado por la aparición de tecnologías emergentes, entre las que destacan la nube, Big Data, inteligencia artificial y el Internet de las Cosas (IoT). Estas tecnologías facilitan la digitalización de los procesos industriales y permiten mejorar la eficiencia operativa, la toma de decisiones y la gestión de recursos en distintos sectores económicos (Zhang et al., 2024).

En el sector de la construcción, una de las industrias más tradicionales y menos digitalizadas, la adopción de estas tecnologías ha sido más lenta en comparación con otros sectores productivos. Diversos estudios han señalado que la baja incorporación de tecnologías digitales y metodologías innovadoras ha contribuido a que el sector de la construcción presente niveles de productividad inferiores a los obtenidos en otras industrias (Nagy et al., 2021). En este contexto surge el concepto de Construcción 4.0, el cual corresponde a la adaptación de los principios de la Industria 4.0 al ámbito constructivo, con el objetivo de integrar tecnologías digitales en las distintas etapas del ciclo de vida de los proyectos y mejorar la eficiencia del sector (Osorio et al., 2023).

La Construcción 4.0 incorpora herramientas digitales como Building Information Modeling (BIM), gemelos digitales, inteligencia artificial, Big Data, realidad aumentada, realidad virtual e impresión 3D, las cuales permiten mejorar la planificación, el monitoreo y la toma de decisiones durante el desarrollo de los proyectos (Pour et al., 2020). En particular, la implementación de tecnologías como BIM e IoT en el análisis de datos ha demostrado generar mejoras en el monitoreo en tiempo real de proyectos, el intercambio de información y la optimización de procesos constructivos (Begić y Galić, 2021).

A pesar del rápido crecimiento de la investigación en Construcción 4.0 durante los últimos años, el estudio y desarrollo científico se concentra principalmente en países desarrollados. Por otro lado, la participación de países latinoamericanos es limitada, lo que evidencia una brecha tecnológica y científica en la adopción de estas tecnologías digitales (Osorio et al., 2023). Esta brecha plantea oportunidades para países en vías de desarrollo como Chile, donde la incorporación de tecnologías asociadas a la Industria 4.0 podría contribuir a modernizar la gestión de sistemas de infraestructura a lo largo de su ciclo de vida.

## **2.4 Internet de las Cosas**

El Internet de las Cosas (Internet of Things, IoT) se entiende como la interconexión de objetos físicos a través de internet, mediante sensores, software y tecnologías de comunicación, lo que permite capturar, procesar e intercambiar información en tiempo real por medio de las redes de comunicación (Xu et al., 2018). Esta tecnología habilita sistemas capaces de monitorear, controlar y optimizar recursos y/o sistemas sin necesidad de intervención humana constante. Estos objetos pueden incluir desde dispositivos domésticos hasta sistemas industriales.

El concepto de IoT comenzó a desarrollarse a finales de la década de 1990, cuando el investigador Kevin Ashton utilizó por primera vez el término para describir un sistema en el que objetos físicos podían ser identificados y monitoreados mediante tecnologías como RFID (Identificación por Radiofrecuencia) y redes digitales. Desde entonces, el concepto ha evolucionado hacia una visión más amplia en la que dispositivos inteligentes pueden recopilar datos del entorno, comunicarse entre sí y apoyar la toma de decisiones en distintos sistemas de control (Berte, 2018).

Los sistemas IoT se estructuran generalmente en cuatro capas funcionales (Kumar et al., 2019). En primer lugar, se encuentran los dispositivos o sensores, también conocidos como nodos, encargados de capturar información del entorno, como temperatura, presión, vibración o nivel de agua. En segundo lugar, se encuentra la capa de comunicación o gateway, que permite transmitir los datos recopilados mediante distintas tecnologías inalámbricas o cableadas. Posteriormente, los datos son enviados a plataformas de procesamiento y almacenamiento, frecuentemente en la nube donde la información puede ser procesada para generar alertas, análisis o acciones automáticas. Finalmente, una capa de aplicación permite visualizar y utilizar la información generada para apoyar la toma de decisiones o la operación de los sistemas.

Dentro del ecosistema IoT, las tecnologías de comunicación juegan un papel fundamental, ya que permiten conectar dispositivos distribuidos geográficamente con plataformas de análisis de datos. En este contexto han surgido diversas tecnologías de comunicación diseñadas específicamente para dispositivos IoT, entre las que destacan redes de bajo consumo energético y largo alcance, conocidas como LPWAN (Low Power Wide Area Networks). Estas redes permiten transmitir datos a largas

distancias utilizando dispositivos de bajo consumo energético, lo que resulta particularmente útil para aplicaciones de monitoreo.

Una de las tecnologías LPWAN más utilizadas es LoRaWAN (Long Range Wide Area Network). En este tipo de redes, los dispositivos o sensores transmiten datos mediante frecuencias de radio de largo alcance hacia estaciones base denominadas gateways, las cuales actúan como intermediarias entre los sensores y la señal de internet. Posteriormente, los datos son enviados desde los gateways hacia servidores de red y plataformas de aplicación, donde pueden ser almacenados, analizados y utilizados para distintos propósitos operacionales o de monitoreo (Adelantado et al., 2017). Este esquema de funcionamiento permite desplegar redes de sensores capaces de transmitir información en tiempo real o en intervalos programados, con un consumo energético reducido que facilita la operación de los sensores alimentados por baterías durante largos períodos.

Debido a estas características, el IoT se ha convertido en una de las tecnologías habilitadoras más relevantes de la transformación digital y de la Industria 4.0. Su capacidad para recopilar datos en tiempo real desde sistemas físicos permite mejorar el monitoreo, la gestión de activos y la toma de decisiones en diversos sectores, incluyendo transporte, energía, ciudades inteligentes e infraestructura urbana (Xu et al., 2018; Kumar et al., 2019).

## **2.5 IoT en Infraestructura**

En el ámbito de la gestión de infraestructuras, el IoT permite medir condiciones estructurales, ambientales y operativas, generando información valiosa para la toma de decisiones.

De acuerdo con Mohamed y Alosman (2024), los marcos habilitados por IoT permiten el desarrollo de plataformas de gestión inteligente de infraestructura, integrando sensores, redes de comunicación y análisis de datos para apoyar la toma de decisiones en tiempo real. Shvets y Hanák (2023) analizan el uso del IoT en la construcción y el Facility Management mediante la revisión de literatura pertinente, distinguiendo aplicaciones en las fases de construcción y operación. En la primera, destacan usos vinculados al monitoreo de la calidad de materiales, la seguridad en obra y la integración con BIM mejorando la eficiencia del trabajo. En la fase de operación, el IoT se aplica a la gestión energética, la creación de edificios, viviendas y ciudades inteligentes mediante sensores. En este contexto, el mayor potencial radica en la creciente interconexión entre BIM e IoT, lo que permitirá optimizar la operación, la sostenibilidad energética y la eficiencia en la gestión de los proyectos de infraestructura.

La relación entre BIM e IoT es particularmente relevante en el ámbito del Facility Management. Mannino et al. (2021) muestran que la literatura reciente apunta a una creciente necesidad de integrar ambos enfoques para mejorar la operación y el mantenimiento, además señalan que esta integración ha avanzado con mayor rapidez en sectores con altas exigencias operativas y regulatorias, donde la continuidad del servicio y la trazabilidad de los activos son críticas. En este sentido, los dispositivos IoT aportan datos en tiempo real sobre condiciones de la infraestructura, los cuales pueden ser procesados y representados dentro de modelos BIM para mejorar la eficiencia operativa y reducir costos de ciclo de vida.

Los gemelos digitales impulsados por IoT y BIM constituyen una base para el mantenimiento predictivo en componentes críticos de infraestructura MEP (mecánicos, eléctricos y de plomería) (Cheng et al., 2020). Estos sistemas, combinados con algoritmos de aprendizaje automático, permiten anticipar fallas, planificar reparaciones y extender la vida útil, transformando la gestión de infraestructura hacia un modelo basado en datos. Metodológicamente, la investigación de Cheng et al. (2020) contempló dos partes: una de información, que integra datos de modelos BIM con datos dinámicos de redes de sensores IoT y registros históricos de Facility Management, y una de aplicación compuesta por módulos de monitoreo, evaluación, predicción y planificación. Emplearon algoritmos de máquinas de soporte vectorial y redes neuronales artificiales alimentados por 15 variables técnicas, incluyendo valores en tiempo real de temperatura y presión, edad de uso e historial de reparaciones, obteniendo resultados de predicción de fallas con una precisión del 96,5%, permitiendo transitar de una gestión reactiva hacia un mantenimiento predictivo que optimiza recursos y extiende la vida útil de los activos críticos.

En este mismo marco, resulta relevante considerar aplicaciones específicas del IoT en los sectores de infraestructura que constituyen el foco de este estudio, es decir, vialidad, drenaje de aguas lluvias y sistemas sanitarios.

En el ámbito de la infraestructura vial, el monitoreo de la salud estructural de pavimentos mediante redes de sensores inalámbricos (Wireless Sensor Networks, WSN) se ha consolidado como una estrategia para extender la vida útil y reducir los costos de mantenimiento. Según Di Graziano et al. (2020), estas redes formadas por nodos integrados en la estructura permiten medir en tiempo real variables como presión, deformación y temperatura, además de detectar la aparición y propagación de grietas. A diferencia de los métodos de inspección externa tradicionales como georradar, ultrasonido o infrarrojo, las redes de sensores inalámbricos ofrecen una alternativa no destructiva, continua y de bajo costo para la detección temprana de daños. Sin embargo, aún enfrentan desafíos técnicos importantes. La investigación de Di Graziano et al. (2020) siguió un proceso sistemático que incluyó la revisión de artículos en bases de datos académicas como Google Scholar y Scopus, obteniendo como desafíos el suministro energético limitado de los dispositivos y la necesidad de empaques más resistentes a altas temperaturas y cargas. Frente a esto, las investigaciones recientes han explorado soluciones basadas en materiales piezoeléctricos para alimentar estos sensores, identificando el fluoruro de polivinilideno como el material más óptimo para resistir las condiciones del pavimento.

Por otro lado, en la infraestructura sanitaria y drenaje, el IoT ha demostrado un impacto significativo en la gestión de sistemas de agua potable, de distribución y de evacuación (Fuentes, 2023). Diversos estudios han reportado aplicaciones que integran redes de sensores IoT con técnicas de análisis de datos e inteligencia artificial para mejorar la operación y el mantenimiento de estos sistemas. A través de sensores instalados en la infraestructura es posible monitorear en tiempo real variables como temperatura, pH, turbidez, presión o caudal, cuyos datos son transmitidos a plataformas de procesamiento para su análisis y visualización (Sugiharto et al., 2023; Singh y Walingo, 2024). La integración de estas tecnologías permite desarrollar sistemas inteligentes capaces de detectar fugas, predecir la demanda de agua y optimizar el consumo energético de las redes (Kumar et al., 2021). Asimismo, la incorporación de modelos de aprendizaje automático ha demostrado ser efectiva para la detección temprana de fallas y fugas en redes de agua a partir de variaciones de presión y flujo, lo que contribuye a reducir pérdidas y mejorar la eficiencia operativa de los sistemas (Sourabh et al., 2023). En conjunto, estas soluciones permiten avanzar hacia sistemas de monitoreo continuo y alerta temprana frente a eventos como inundaciones, contaminación o fallas en la infraestructura, facilitando la toma de decisiones por parte de las autoridades y reduciendo la necesidad de intervención humana.

En conclusión, la literatura muestra que el IoT constituye un recurso transversal para distintos tipos de infraestructura, ya sea en edificaciones, pavimentos o sistemas de agua potable. Sus principales atributos radican en la capacidad de habilitar un monitoreo continuo y predictivo, mejorar la eficiencia energética y operativa, y aportar datos que facilitan la gestión. No obstante, su implementación enfrenta limitaciones asociadas a los altos costos iniciales, la durabilidad de los sensores, la infraestructura de telecomunicaciones y la necesidad de personal capacitado para gestionar grandes volúmenes de información. Además, Nagy et al. (2021) destacan que la adopción de tecnologías propias de la industria 4.0 no depende únicamente de su disponibilidad técnica, sino también de factores organizacionales, institucionales y del desarrollo de capacidades humanas. Así, el IoT se proyecta no como una solución aislada, sino como un componente estratégico de la Construcción 4.0 y de la gestión de infraestructura para las ciudades.

## **2.6 IoT en infraestructura en Chile**

En el contexto chileno, la aplicación del IoT en infraestructura se ha explorado principalmente en sectores estratégicos como la minería, las ciudades inteligentes y el monitoreo estructural de edificaciones.

En la industria minera, la introducción de redes 5G ha potenciado el uso de IoT para habilitar distintos sistemas. Consuegra (2024) documenta 3 casos de uso en Chile: el control remoto de maquinaria mediante realidad virtual, la transmisión de datos desde cámaras con IA y el monitoreo ambiental con

mantenimiento predictivo en una importante empresa minera, donde se integran cámaras con inteligencia artificial, sensores LIDAR y gateways IoT conectados a redes 5G, lo que permitiría operaciones más seguras y eficientes. Para validar la factibilidad técnica, el autor realizó simulaciones georreferenciadas utilizando el software Radio Mobile y resolvió de manera computacional el modelo de propagación Okumura-Hata y su variante COST-231 mediante Python y Excel, permitiendo estimar con precisión las pérdidas de trayectoria en el complejo entorno geográfico de las faenas. Los resultados de esta investigación demuestran que la integración de IoT y 5G permite superar las limitaciones de las redes tradicionales al proporcionar el ancho de banda masivo y la baja latencia necesarios para la operación en tiempo real. También, revelaron que la conectividad 5G vigente hoy en día en Chile es capaz de cumplir con los requerimientos de velocidad mínima de 210 Mbps necesarios para el streaming de video en 8K, el control de dispositivos de realidad virtual y de poder diseñar redes de sensores conectados vía gateways LoRaWAN para realizar mediciones en tiempo real y operar de forma predictiva, en este caso, considerando la calidad del aire y los niveles en estanques de relave.

En cuanto a ciudades inteligentes, existe una iniciativa que ha promovido la incorporación de IoT para abordar desafíos de movilidad, gestión de servicios y calidad de vida. Gutiérrez et al. (2020) analizan los desafíos del proyecto Smart City Santiago, el primer prototipo de ciudad inteligente en Chile implementado en el parque de negocios Ciudad Empresarial. Metodológicamente, la investigación aplicó un enfoque exploratorio a través de un estudio que incluyó entrevistas a doce empresas participantes del proyecto para identificar barreras en tres componentes críticos: sensores, redes y gestión de la cadena de valor. El piloto analizado consistió en la instalación de aproximadamente 100 medidores inteligentes en viviendas y la automatización de redes de media tensión para testear el concepto de Smart Grid en un entorno de red real, permitiendo la gestión remota y eficiente de la energía para la toma de decisiones basada en información en línea. Los resultados de la investigación revelaron que, si bien todas las empresas participantes cumplen con al menos el 50% de los objetivos del modelo de referencia (Smart City Málaga), aún existe una brecha importante para alcanzar una integración plena. El resultado principal indica que el mayor desafío reside en la gestión adecuada de la cadena de valor del IoT, específicamente en transformar los datos crudos capturados por sensores en servicios finales que optimicen el uso de recursos. Además, se identificaron limitaciones de carácter organizacional y social, tales como la poca interacción entre los diferentes stakeholders, el desconocimiento cultural de las tecnologías IoT y una escasez de talento técnico capacitado para planificar y mantener sistemas complejos de datos. Estos resultados indican que la viabilidad del modelo no depende solo de la infraestructura tecnológica, sino de una gobernanza que consolide la propuesta de valor entre todos los actores involucrados.

El monitoreo estructural es otro campo donde el IoT muestra un uso relevante, particularmente en zonas sísmicas como Chile. La investigación de Lozano-Allimant et al. (2025) es fundamental para establecer las bases de sistemas basados en IoT orientados a gemelos digitales en Chile. Metodológicamente, la investigación aplicó un enfoque experimental de largo plazo (2022-2024) en un edificio de hormigón armado en Valparaíso, utilizando acelerómetros triaxiales de fuerza balanceada sincronizados para capturar respuestas dinámicas ante diversas fuentes de excitación: vibraciones ambientales, eventos sísmicos y actividad de construcción adyacente. Para procesar los datos, los autores utilizaron MATLAB con el método de identificación de subespacio estocástico con covarianzas, el cual permite extraer parámetros modales de la estructura sin requerir excitaciones artificiales. Los resultados de esta investigación demostraron la robustez de la tecnología IoT para el monitoreo continuo, identificando una frecuencia dominante estable de 2,4 Hz y un segundo modo natural cercano a los 10 Hz, los cuales persistieron de manera consistente independientemente del tipo de entrada de datos. La importancia de este resultado radica en que el sistema permite detectar variaciones mínimas en el comportamiento estructural, facilitando la identificación temprana de deterioros tras eventos sísmicos de relevancia. De este modo, la integración de redes de sensores de bajo costo y algoritmos avanzados de análisis modal constituye una solución escalable para mejorar la resiliencia sísmica de la infraestructura urbana, evidencian cómo el uso de acelerómetros y análisis modal operativo en un edificio de hormigón armado puede sentar las bases para sistemas de monitoreo en tiempo real y gemelos digitales y mantenimiento predictivo utilizando IoT.

A nivel más amplio, En Latinoamérica la literatura sobre Construcción 4.0 subraya que la adopción de tecnologías digitales avanzadas como IoT y gemelos digitales aún es incipiente. Martínez et al. (2025) identifican barreras vinculadas a la falta de infraestructura digital robusta, brechas de conocimiento y resistencia organizacional. Por lo tanto, el contexto chileno muestra un escenario dual: por un lado, modelos prometedores en minería, ciudades inteligentes y monitoreo estructural; y por otro, barreras estructurales, técnicas y culturales que limitan su adopción masiva.

## **2.7 Oportunidad de investigación**

A pesar del creciente interés por la digitalización, bajo el contexto de la Industria 4.0, el uso de tecnologías como IoT es incipiente, sobre todo en el sector de la construcción y Latinoamérica. La literatura destaca que su uso puede mejorar el monitoreo de activos, habilitar estrategias de mantenimiento predictivo y facilitar la toma de decisiones basada en datos en tiempo real. Sin embargo, también se identifican brechas tecnológicas, limitaciones institucionales y resistencia organizacional para su implementación. En Chile se tienen ejemplos de incorporación de tecnologías digitales en sectores específicos, pero se tiene poca evidencia de uso en agencias responsables de la gestión de infraestructura urbana.

Por parte de la gestión integrada de infraestructura, la literatura señala que es muy importante disponer de información confiable, actualizada y de calidad, pero también identifica desafíos, entre los cuales se pueden destacar los problemas para la obtención y almacenamiento de la información, lo que sumado a dificultades de coordinación entre agencias repercute en una mala comunicación y gestión deficiente de las ciudades.

Por lo tanto, surge la necesidad de generar literatura que permita comprender el estado de la práctica sobre el uso y conocimiento de las tecnologías de la Construcción 4.0 en la infraestructura urbana chilena, particularmente del IoT en vialidad, drenaje de aguas lluvias y agencias sanitarias considerando la perspectiva de los actores responsables de la gestión del mantenimiento y operación de los sistemas de infraestructura, para así identificar cualitativamente factores habilitadores y limitantes de hoy en día frente a la inclusión de IoT como una herramienta para avanzar en resolver el desafío de la gestión integrada de obtención, manejo y traspaso de información.

# **3 Objetivos**

## **3.1 Objetivo General**

Determinar el potencial de uso de tecnologías IoT en el monitoreo de infraestructura vial, sanitaria y drenaje de aguas lluvias en Chile, mediante revisión de literatura y entrevistas semiestructuradas a profesionales afines, con el propósito de identificar su factibilidad como solución al desafío de obtención y almacenamiento de información para la Gestión Integrada de Infraestructura en el largo plazo.

## **3.2 Objetivos Específicos**

1. Identificar los usos del Internet de las cosas, poniendo énfasis en lo relacionado con el sector de la construcción, mediante la revisión de literatura nacional e internacional, estableciendo su relación con el monitoreo y la Gestión Integrada de Infraestructura.
2. Caracterizar el conocimiento de IoT y su uso en el monitoreo de infraestructuras, por medio de entrevistas semiestructuradas a profesionales del área, para saber el nivel de conocimiento de estas tecnologías y su implementación en Chile, en el contexto de la Industria 4.0.
3. Establecer las ventajas y desventajas del uso de IoT en el monitoreo de infraestructura, mediante el análisis cualitativo de la información recopilada, para obtener conclusiones sobre su impacto en la Gestión Integrada de Infraestructura.

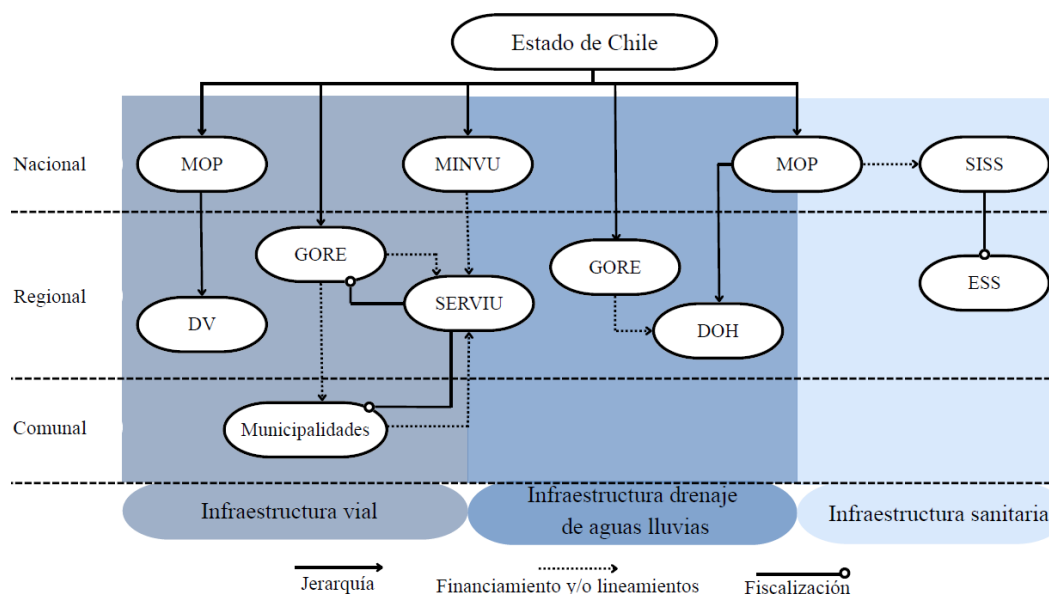
## 4 Metodología

Esta investigación se desarrolla bajo un enfoque exploratorio que permite integrar evidencia teórica y práctica sobre un tema poco estudiado en el contexto chileno, realizando un análisis cualitativo.

### 4.1 Recopilación de datos

En primer lugar, se realiza una revisión de literatura contemplando fuentes académicas y técnicas relacionadas con la Gestión Integrada de Infraestructura, el Internet de las Cosas y su aplicación en el sector de la construcción, con el fin de establecer su relación desarrollar el marco teórico y contextual.

En segundo lugar, se lleva a cabo el diseño y aplicación de entrevistas semiestructuradas dirigidas a profesionales del sector público y privado relacionados con la gestión e implementación tecnológica en infraestructuras viales, sanitarias y de drenaje de aguas lluvias. El espacio muestral de entrevistados se determina por conveniencia y abarca funcionarios con cargos de jefatura en gestión de operaciones y/o mantenimiento de distintas empresas sanitarias del país, jefaturas de departamentos de gestión de infraestructuras en entidades públicas como SERVIU, MINVU, SISS, DOH, municipalidades y Dirección de Vialidad del MOP. La Figura 1 muestra cómo se relacionan los actores involucrados de las agencias de infraestructura en estudio.



**Figura 1: Actores involucrados y sus relaciones**

Fuente: Elaboración propia.

Los funcionarios públicos son contactados por medio de la Ley del Lobby, que permite a las personas naturales reunirse en una audiencia con funcionarios públicos, mientras que para los del sector privado se contactan por medio de contactos personales y por método de bola de nieve, es decir, recomendación de un contacto o de un entrevistado previo.

El enfoque de las entrevistas de esta investigación es recoger experiencias, percepciones y conocimientos prácticos sobre el monitoreo de infraestructuras, la gestión integrada y el uso del Internet de las Cosas. Las entrevistas buscan capturar una visión tanto actual como futura del empleo de estas tecnologías en Chile, lo que permite caracterizar aspectos como: el nivel de conocimiento sobre IoT, ventajas percibidas, los desafíos identificados por los profesionales y las oportunidades de implementación en el contexto chileno.

Entonces, se diseña una entrevista del tipo semiestructurada, es decir, se combinan preguntas guía con la flexibilidad de que el entrevistador pueda interactuar para profundizar más algún tema, según las respuestas del entrevistado. La entrevista es diseñada bajo el contexto de la gestión integrada de infraestructura y se compone de 13 preguntas distribuidas en 5 secciones: caracterización del

entrevistado, monitoreo actual, conocimiento de IoT, beneficios y barreras del IoT, mirada futura. Las preguntas de la entrevista se pueden revisar en el Anexo A.

En total se realizan 16 entrevistas entre septiembre y noviembre de 2025, incorporando profesionales de los tres tipos de agencia en estudio y, también, un especialista en IoT vinculado a una empresa que presta servicios de soluciones IoT para industrias. En promedio, los entrevistados tienen 22 años de experiencia en el rubro de la gestión de operación y/o mantenimiento de infraestructuras y el 50% de los entrevistados corresponde a ingenieros civiles. En la Tabla 1 se resume esta información.

Las entrevistas se pueden detener cuando se alcanza el punto de saturación, el cual, según Díaz-Bravo (2013) es cuando en una entrevista ya no se encuentran nuevos datos a los recolectados en entrevistas previas y, según la literatura, este punto de saturación se obtiene a partir de las 12 entrevistas (Galvin, 2015). En este caso, las entrevistas fueron detenidas con el punto de saturación alcanzado.

**Tabla 1: Información entrevistados.**

Nro.	Tipo de agencia	Cargo	Profesión	Años de experiencia
1	Servicios IoT	Socio fundador	Ing. Civil Eléctrico	10
2	Drenaje	Analista DITEC	Ing. Civil	18
3	Vial	Jefe coordinación de mantenimiento vial	Ing. Civil	23
4	Vial	Jefe dpto. gestión vial	Ing. Civil	25
5	Sanitaria	Jefe dpto. de mantenimiento	Ing. Civil Electrónico	26
6	Sanitaria	Jefe dpto. de inteligencia operacional	Ing. Civil	11
7	Vial	Jefe unidad gestión territorial	Geógrafa	20
8	Vial	Subdirector de pavimentos y oocc	Ing. Civil Industrial	20
9	Drenaje	Jefe dpto. construcción de obras de evacuación y drenaje de aguas lluvias	Ing. Civil	21
10	Drenaje	Jefe dpto. técnico	Constructor Civil	20
11	Vial	Encargado vialidad urbana	Constructor Civil	30
12	Drenaje	Director regional	Ing. Civil	32
13	Vial	Jefe dpto. obras viales	Ing. Civil	20
14	Sanitaria	Jefe dpto. desarrollo de redes	Ing. Informático	30
15	Drenaje	Inspección fiscal y gestión de información	Ing. Civil Mecánico	11
16	Sanitaria	Jefe área estudios y normas	Ing. Civil	30
			Promedio	22

Fuente: Elaboración propia.

## 4.2 Análisis cualitativo

El procesamiento de la información se realiza mediante análisis de contenido temático (Namey et al., 2008). Para ello, se construyen diccionarios de categorías y subcategorías o códigos basados en la revisión de la literatura y una lectura preliminar de las entrevistas, luego de sus respectivas transcripciones. Según Namey et al. (2008) cada categoría agrupa varios códigos, y cada código

representa una idea recurrente o unidad de significado en las entrevistas. Los diccionarios sirven como guía para la codificación sistemática de los textos, identificando temas como, en este caso, ventajas operativas, limitaciones tecnológicas, barreras institucionales y oportunidades.

Se utiliza el software cualitativo Weft QDA Miner lite para organizar, codificar y analizar las transcripciones, permitiendo evaluar frecuencias, relaciones entre conceptos y patrones que permiten organizar los resultados obtenidos en las entrevistas y hacer el respectivo análisis.

Por lo tanto, a partir de la lectura y codificación de entrevistas se generan 3 diccionarios, los cuales se presentan a continuación en Tabla 2, Tabla 3, Tabla 4 y cada subcategoría representa los códigos asociados a los testimonios que identifican el diagnóstico del monitoreo actual de las infraestructuras en estudio, el diagnóstico de la gestión integrada percibido por los entrevistados y como, en conjunto, condicionan factores habilitadores y limitantes para la implementación de IoT.

**Tabla 2: Diagnóstico actual del monitoreo de la infraestructura.**

<b>Categoría</b>	<b>Definición</b>	<b>Subcategoría</b>	<b>Definición</b>	<b>Cita</b>
<b>Estrategia de monitoreo</b>	Filosofía de acción sobre la infraestructura.	Reactiva	Se interviene cuando ocurre una emergencia o cuando el deterioro es muy evidente, el monitoreo es bajo o nulo.	"siempre se actúa como reactivo, cuando hay deficiencia en la infraestructura".
		Predictiva	Enfocado en anticiparse a las fallas.	"así podemos por ejemplo adelantarnos a un vertimiento en vía pública de agua servida".
		Medición automatizada	Se utilizan dispositivos autónomos conectados generalmente a radiofrecuencia.	"Nosotros como empresa sanitaria tenemos una red de telemetría y telecontrol bien potente".
<b>Métodos de monitoreo</b>	Sobre las herramientas utilizadas para conocer el estado de la infraestructura.	Inspección visual	Reporte por visitas a terreno realizada por trabajadores de la agencia	"la verdad, en este minuto se hace en forma bien artesanal, por decirlo de alguna palabra, se hace por inspecciones visuales".
			A través de denuncias	"en base a los requerimientos de

		ciudadanas o programas de participación.	cada comuna, nos llega la información que necesitan, por ejemplo, limpieza de redes de tal parte y nosotros programamos”
		Advertencia de la comunidad	
		Programas de desarrollo	Existen programas enfocados en implementar nuevas tecnologías. "estamos constantemente tratando de implementar nuevas formas de poder obtener información lo más oportuna posible".
		Uso de IoT	Se utilizan dispositivos IoT para la medición de parámetros. "hoy día ya tenemos redes de sensores de presión que antes eran logger, ahora tenemos sensores de transmisión LoRaWAN".
<b>Disponibilidad de información</b>	La agencia posee información histórica, georreferenciada y de calidad sobre sus redes.	Sin catastro	No se tiene una base de datos con información sobre la red de infraestructura. "nosotros ni siquiera tenemos catastrada la infraestructura”.
		Con catastro	Existe una base de datos con información sobre la red de infraestructura. "tenemos catastrada toda la red, lo que pasa es que a veces hay diferencias".
		Nula	No conoce el IoT, nunca lo ha utilizado. "no, no hemos trabajado con esa tecnología".
<b>Madurez IoT</b>	Nivel de conocimiento demostrado por el entrevistado respecto al IoT.	Media	Demuestra un conocimiento básico, a nivel conceptual o por una experiencia práctica con IoT. "Sí, he escuchado algunos tópicos o ámbitos de esta tecnología, principalmente que tiene que ver con conteos de datos".

Avanzada	Presenta dominio del tema, lo utiliza a diario en su trabajo.	"llevamos años trabajando en lo que se llama el concepto de red inteligente de agua y es, principalmente, la utilización de sensores en la red".
----------	---	--

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3: Diagnóstico gestión integrada de infraestructura.**

Categoría	Definición	Subcategoría	Definición	Cita
<b>Gestión integrada de infraestructura</b>	Opinión del entrevistado sobre la gestión entre agencias de infraestructura urbana.	Descoordinación operativa	La coordinación es mala, se presentan sorpresas en terreno o intervenciones innecesarias.	"el primero que llega construye y el segundo va a tener que demoler, instalar el colector y rehacer".
		Existen planes	Se mencionan planes o protocolos que regulan la gestión de información entre los distintos servicios.	"estamos haciendo un convenio con el gobierno regional, que nos estamos traspasando información, en el fondo, para poder ir unificando y teniendo una plataforma común".
		Importancia del dato	Se identifica que tener información confiable es clave para gestión y la toma de decisiones.	"Hay una cosa que, para mí, es súper de sentido común y básica, tú no puedes tomar decisiones si no tienes los datos".
		Dependiente de la voluntad	Sujeta a la disposición de las personas encargadas de realizar la gestión.	"pasa mucho por la voluntad del que está interviniendo la vía o el que está haciendo una inversión, ya sea privada o pública".
		No existe	Menciona que la integración de la gestión entre agencias de infraestructura es prácticamente nula.	"todavía no se logra tener sistemas como unificados".
		Identificación de responsabilidades	No se tiene claridad de quién se debería encargar de gestionar la gestión integrada.	"no hay alguien que te frene, que diga no mira aquí va a haber una intervención mayor en un par de años más, no, no lo hagas".

Gestión fragmentada	Existen muchas divisiones dentro de las mismas agencias, además cada una utiliza organiza su propia información con distintas bases de datos independientes.	"porque todavía la estructura del Estado es atomizada, o sea, existen los ministerios, la subsecretaría, las subdirecciones, las direcciones, no existe una gobernanza estatal de este tipo de sistemas que pudiera administrar la información".
Desacuerdo	Está en desacuerdo con que la gestión debe ser integrada.	"creo que acá como pastelero de tus pasteles, cada área debería desarrollar una tecnología en su misma experticia".

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4: Factores habilitadores y limitantes para implementar IoT.**

Categoría	Definición	Subcategoría	Definición	Cita
<b>Ventajas para la recolección de datos</b>	Factores que son considerados positivos para la implementación de IoT considerando la toma, transmisión y almacenamiento de la información.	Ámbito económico	Se uso se asocia a un retorno a la inversión y a un bajo costo comparado con telemetría convencional.	"Actualmente te cuesta 200 lucas o 300 lucas comprar un equipo LoRa, son súper baratos frente a una radio que te cuesta más de 2.000.000".
		Practicidad	De fácil utilización y permite simplificar tareas complicadas realizadas por personas.	"fácil de utilizar, o sea, son planes prácticamente, uno lo enciende, lo agrega a la base de datos que está en la nube, los datos llegan y nosotros hacemos gestión".
		Ahorro de tiempo	La medición de parámetros es mucho más rápida y constante.	"en el fondo te ahorras HH, porque al final no vas a tener gente midiendo en terreno, que van a estar mucho tiempo ahí".
		Avances en red nacional	Chile avanza en temas de conectividad, haciendo cada vez más fácil incorporar sistemas IoT.	"sabemos que somos de los países que tiene mayor avance con respecto a eso, en zonas donde antes no llegaba ni 3g, eventualmente puede llegar 5 g".

<b>Limitaciones para la recolección de datos</b>	Factores que limitan la implementación del IoT considerando la toma, transmisión y almacenamiento de la información.	Conectividad	La cobertura no es nacional y pueden ocurrir fallas que limiten la operación de las redes y servidores.	"¿Qué pasa si el día de mañana tenemos un problema con un corte de una fibra?".
		Obsolescencia tecnológica	El rápido avance de las tecnologías obliga a ir actualizando constantemente las redes y dispositivos.	"los procesos duran años entonces muchas veces esas tecnologías que nos presentan hoy, cuando ya la podemos implementar ya están totalmente obsoletas".
		Cantidad de información	Es posible recolectar y almacenar mucha información que no será ocupada.	"lo principal es la calidad de la información, si a una plataforma yo le pongo basura, entra basura y sale basura".
<b>Ventajas para la gestión y toma de decisiones</b>	Beneficios percibidos para la gestión y toma de decisiones con la implementación de IoT.	Planificación y mantenimiento predictivo	Conocer el estado de la infraestructura a través de distintos parámetros permitiría anticiparse a fallas.	"vas a saber o podrías saber cuánta es la duración real de una carpeta asfáltica o de un hormigón y poder tomar las consideraciones necesarias antes que se produzca la falla".
		Información confiable	La información recopilada a través de IoT se percibe confiable para la gestión.	"es perfectamente confiable tanto como un sensor, siempre que los modelos detrás de ese internet de las cosas estén bien calibrados".
		Optimización	Se agiliza los procesos de operación y planificación, reduciendo costos y tiempo.	"podríamos aprovechar de mejor forma los pocos recursos que tenemos, porque podríamos tener la información del estado de esta red y saber dónde destinar recursos".

**Limitaciones para la gestión de información**

Barreras que impiden la implementación de IoT considerando la gestión y toma de decisiones.

Información nueva	Posibilidad de integrar información que antes no se tomaba en cuenta para la gestión.	"si ya se produce una falla, ya tener la certeza de por qué se produjo, ya sea mal diseño o un agente externo que puede ser una filtración de agua o que cambiaron las condiciones del tránsito".
Económicas	Relacionadas con la disponibilidad y asignación de presupuesto, especialización y mito de que es caro.	"si no tuviéramos esa barrera, yo creo que tendríamos ya sensores por todos lados, incluso sensores que no sean útiles o que no sean rentables, pero los tendríamos".
Falta de visión	Se refiere a la resistencia al cambio de lo tradicional por lo digital y las prioridades que tenga cada agencia.	"no hay una gran disposición hacia las tecnologías, hacia la innovación, es difícil innovar acá, pero en general, creo que es un tema de estructura organizacional y de mirada".
Confidencialidad	Se podría sufrir un ciberataque, malinterpretación o robo de información confidencial.	"tenemos datos que son de calidad de servicio, que a veces son maniobras o son situaciones que son interpretables por otros, y podría interpretarse como que se está haciendo algo en contra de alguien".
Discontinuidad de programas	Existen planes de incorporación tecnológica que no renuevan presupuestos o no realizan mantención a los equipos.	"entonces no basta solo el esfuerzo de la primera digitalización, sino que después viene todo un camino para mantener esa esos sistemas".

<b>Recomendaciones para implementar IoT</b>	Ideas de los entrevistados que podrían ayudar a la implementación de IoT en el contexto de la gestión integrada.	Especialización	Se requiere personal técnico capacitado que pueda trabajar con IoT.	"requiere especialización, requiere que en la empresa exista el personal técnico que esté capacitado para atender este tipo de tecnología".
		Empresas con experiencia	Se refiere a trabajar con empresas que sean expertas en IoT y tomar ejemplos de casos de éxito de otros lugares del mundo.	"obviamente buscar tal vez ayuda internacional de países donde eso ya se usa para poder saber cuál es la mejor interpretación que se le debe dar a los datos".
		Necesidad de una institución	Menciona que debería existir una institución que se encargue de realizar la gestión integrada de los servicios.	"una institución se haga cargo de esto, analice, haga bases de datos, haga gráficos, presente información y que sirva tanto para el público y privado para priorizar intervenciones".
		Participación de universidades	Se considera fundamental hacer convenios con la academia para avanzar.	"los otros centros de investigación también tienen una tarea: sensibilizar a la autoridad de la utilidad que tiene esto e ir avanzando en el tiempo".
		Actualizar políticas públicas	Menciona que hacen falta cambios en políticas públicas.	"habría que, primero instalar una política, generar una política de Estado".
		Subsidios	Se proponen los subsidios como una forma de incentivar.	"la mejor forma, como siempre ha funcionado en Chile, es subsidiar inicialmente la implementación de este tipo de tecnología".
<b>Impacto esperado</b>	Principales cambios positivos que serían consecuencia del uso de IoT en el futuro.	Beneficios para la comunidad	El uso de IoT para la gestión se vería reflejado en una mejora de la calidad de los servicios percibida por los usuarios.	"yo creo que por ahí va el beneficio, se podría transformar la vida de las personas".

Acceso a información interactiva	Se plantea que en el futuro tanto las personas naturales como las autoridades tendrán acceso a aplicaciones con información.	"alguien en el celular va a pinchar un camino y va a poder ver que tiene esta condición, en 5 años más va a estar en tal estado, si no hacemos inversiones ahora esto nos va a salir tanta plata".
----------------------------------	--	--

Fuente: Elaboración propia.

### 4.3 Limitaciones

El tamaño de la muestra es una de las principales limitaciones de este estudio, un total de 16 entrevistas entre los 3 tipos de servicios de infraestructura resulta en una base de información limitada, aun así, se llegó al punto de saturación de respuestas.

Otra limitación es la reducida cantidad de servicios de infraestructura involucrados en la investigación, la incorporación de más sistemas habría hecho que el estudio fuera más complejo y extenso, además, en investigaciones anteriores ya se agruparon estos tres servicios: vial, sanitario y drenaje de aguas lluvias como punto de partida, pero durante las entrevistas surgieron menciones a otros sistemas de infraestructuras que podrían ser relevantes de incluir en futuras investigaciones, tales como sistemas de gas, electricidad, telecomunicaciones y transporte.

Finalmente, la ubicación geográfica es una limitante, si bien, el estudio si incorpora respuestas provenientes de la zona norte y zona sur del país, representa un contexto nacional bajo respuestas emitidas en su mayoría desde la región Metropolitana y la región de Valparaíso. Esto significa que las problemáticas identificadas podrían no ser representativas en todas las regiones del país. Las condiciones de otras zonas podrían enfrentar problemáticas distintas o presentar diferencias importantes en relación con los proyectos de infraestructura. Debido a eso, investigaciones que abarquen una diversidad de región y entornos serían necesarias para obtener un panorama más completo.

## 5 Resultados

Luego de realizar la codificación en el software Weft QDA Miner Lite, se procede con el conteo de menciones de cada subcategoría. El mismo software realiza el conteo de las veces totales que fue mencionada la subcategoría y la cantidad de entrevistados que la mencionaron. En las siguientes tablas: Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7 se muestran los resultados obtenidos para cada uno de los diccionarios creados, donde el primer número representa las veces que es mencionada la subcategoría y el número entre paréntesis “()” representa la cantidad de entrevistados que la mencionan.

**Tabla 5: Resultados diccionario Diagnóstico actual del monitoreo de la infraestructura.**

Categoría / subcategoría	Sanitaria	Drenaje	Vial	Total
<b>Estrategia de monitoreo</b>				
Reactiva	2(2)	11(5)	6(6)	19(13)
Predictiva	2(2)	-	-	2(2)

<b>Métodos de monitoreo</b>				
Programas de desarrollo	4(3)	2(2)	5(3)	11(8)
Inspección visual	1(1)	3(2)	5(4)	9(7)
Advertencia de la comunidad	1(1)	4(3)	3(3)	8(7)
Medición automatizada	8(4)	1(1)	6(2)	15(7)
Uso de IoT	6(3)	-	-	6(3)
<b>Disponibilidad de la información</b>				
Sin catastro	-	5(4)	2(2)	7(6)
Con catastro	3(3)	1(1)	4(4)	8(8)
<b>Madurez IoT</b>				
Nula	1(1)	3(3)	2(2)	6(6)
Media	3(1)	3(2)	5(4)	11(7)
Avanzada (*)	6(2)	-	-	9(3)

(\*) Las menciones del entrevistado de Servicios IoT son consideradas en el total

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6: Resultados diccionario Diagnóstico gestión integrada de infraestructura.**

<b>Categoría / subcategoría</b>	<b>Sanitaria</b>	<b>Drenaje</b>	<b>Vial</b>	<b>Total</b>
<b>Gestión integrada de infraestructura</b>				
Importancia del dato (*)	1(1)	3(2)	6(4)	12(8)
Descoordinación operativa	2(1)	4(3)	7(3)	13(7)
Existen planes	3(2)	4(2)	4(3)	11(7)
Gestión fragmentada	-	1(1)	7(4)	8(5)
Dependiente de la voluntad	1(1)	4(3)	1(1)	6(5)
No existe	-	2(2)	4(3)	6(5)
Identificación de responsables	1(1)	4(2)	1(1)	6(4)
Desacuerdo	-	-	1(1)	1(1)

(\*) Las menciones del entrevistado de Servicios IoT son consideradas en el total

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 7: Resultados diccionario Factores habilitadores y limitantes para implementar IoT.**

<b>Categoría / subcategoría</b>	<b>Sanitaria</b>	<b>Drenaje</b>	<b>Vial</b>	<b>Total</b>
<b>Ventajas para la recolección de datos</b>				
Ámbito económico	8(3)	6(3)	4(3)	18(9)
Practicidad (*)	6(3)	-	6(5)	13(9)
Ahorro de tiempo	3(2)	1(1)	4(2)	8(5)
Avances en red nacional (*)	-	-	-	2(1)
<b>Limitaciones para la recolección de datos</b>				
Conectividad (*)	4(2)	1(1)	4(2)	12(6)
Obsolescencia tecnológica	1(1)	-	4(3)	5(4)
Cantidad de información	1(1)	-	4(3)	2(2)
<b>Ventajas para la gestión y toma de decisiones</b>				
Planificación y mantenimiento predictivo (*)	8(3)	7(4)	12(6)	30(14)
Confiabilidad (*)	2(2)	3(3)	2(2)	8(8)
Optimización (*)	2(1)	1(1)	4(3)	8(6)
Información nueva	-	-	5(4)	5(4)
<b>Limitaciones para la gestión de información</b>				
Falta de visión (*)	8(3)	3(2)	5(4)	17(10)
Económicas	2(2)	5(3)	9(5)	16(10)
Confidencialidad (*)	7(3)	1(1)	2(2)	13(7)
Discontinuidad de programas	2(2)	4(2)	2(1)	8(5)
Especialización	2(2)	-	5(3)	7(7)
<b>Recomendaciones para implementar IoT</b>				
Empresas con experiencia (*)	5(2)	2(1)	6(3)	14(7)
Necesidad de una institución	-	7(4)	5(4)	12(8)
Actualizar políticas públicas	1(1)	5(2)	2(2)	8(5)
Participación de universidades	1(1)	-	5(3)	5(3)
Subsidios	1(1)	-	1(1)	2(2)
<b>Impacto esperado</b>				
Beneficios para la comunidad (*)	3(2)	1(1)	5(4)	10(8)
Acceso interactivo a la información (*)	2(2)	-	1(1)	4(4)

(\*) Las menciones del entrevistado de Servicios IoT son consideradas en el total

Fuente: Elaboración propia.

## 6 Discusión

### 6.1 Diagnóstico actual del monitoreo de la infraestructura

Los resultados de la Tabla 5 muestran que actualmente, en términos generales, el monitoreo de la infraestructura urbana tiene un enfoque reactivo y existen diferencias relevantes respecto a los niveles de madurez tecnológica entre las agencias de infraestructura en estudio. A pesar de que existan avances en automatización y uso de tecnologías avanzadas, principalmente en agencias sanitarias, se evidencia el atraso de la Construcción 4.0 respecto al contexto de la industria 4.0, mencionado por Nagy et al. (2021).

La estrategia de monitoreo que predomina en las respuestas de los entrevistados es de un enfoque reactivo, llegando a 19 menciones por parte de 13 entrevistados. Esto se manifiesta en la ausencia de mecanismos de detección temprana de fallas, las intervenciones en la infraestructura se realizan a partir de emergencias, deterioros visibles o reclamos ciudadanos. En el ámbito del drenaje de aguas lluvias, varios entrevistados señalaron explícitamente la inexistencia de monitoreo sistemático, indicando que *“no se hace ningún monitoreo”* o que *“se actúa únicamente en caso de emergencia”*. De manera similar, en el sector vial se reconoce que la forma de operar es reactiva. Este resultado es consistente con lo planteado por Vásquez (2021), quien identifica que la gestión de infraestructura urbana en Chile se orienta mayoritariamente a intervención una vez que se han manifestado problemas, en lugar de adoptar enfoques predictivos que, en este caso, solo fueron mencionados por entrevistados de empresas sanitarias.

Siguiendo la línea de la operación reactiva, los métodos utilizados son, como dice un entrevistado, *“artesanales”*, y es muy común intervenir luego de inspecciones visuales o advertencias ciudadanas para las agencias de drenaje de aguas lluvias y vialidad. Sin embargo, según muestran los resultados, en todas las áreas se tienen programas de desarrollo enfocados en obtener información de forma automatizada de parámetros físicos involucrados directamente con el estado de la infraestructura, por ejemplo: *“lo que sí hemos avanzado en las mediciones de caudales, unos parámetros de altura de agua y otros parámetros más incorporando telemetría”*. Pero, aun así, en muchos casos no se tienen catastros con información histórica de calidad y georreferencia, lo que perjudica la gestión, como declara un entrevistado del área vial: *“no tenemos una base de datos del estado de los pavimentos ni tampoco tenemos una planificación de mantención de pavimentos”*.

La automatización de las operaciones es un tema que en las empresas de servicios sanitarios es fuerte, en general, ellos declaran tener *“una red de telemetría y telecontrol bien potente”*, que también les ha permitido tener un catastro georreferenciado, histórico y de calidad que aporta hacia un enfoque predictivo, a diferencia de las otras agencias en estudio.

La incorporación de IoT, que es el foco de esta investigación, hoy en día se hace presente solo en las empresas sanitarias, quienes declaran estar incorporando sensores y dispositivos conectados a la red para optimizar procesos, en vez de incorporar más telemetría convencional: *“utilización de sensores en la red, en los puntos estratégicos de la infraestructura para generar optimizaciones”*. Esto refuerza lo dicho por Mannino et al. (2021), quienes indican que los sectores con mayores exigencias regulatorias y operativas tienden a adoptar con mayor rapidez herramientas digitales para la gestión de activos.

Los resultados muestran diferentes niveles de conocimiento sobre Internet of Things entre los entrevistados. Para la mayoría, el concepto resulta familiar solo de manera general, ya sea por referencias indirectas, experiencias puntuales en otros contextos o conocimientos básicos adquiridos por iniciativa propia. Asimismo, una proporción relevante de los entrevistados declara no tener conocimiento sobre esta tecnología, lo que evidencia que el IoT aún no se encuentra incorporado de forma explícita en sus áreas de trabajo. En contraste, los entrevistados que presentan un dominio avanzado del IoT corresponden a actores que interactúan cotidianamente con este tipo de tecnologías, ya sea mediante su implementación directa en procesos operativos, como en el caso de las empresas sanitarias que

institucionalmente tienen una estructura diferente a la del servicio público, o a través de la provisión de soluciones tecnológicas a terceros.

Este hallazgo refuerza la idea de que la brecha identificada en el monitoreo de infraestructura no es exclusivamente tecnológica, sino también organizacional y formativa, ya que la adopción de herramientas digitales avanzadas requiere no solo inversión en infraestructura tecnológica, sino también el desarrollo de gestión humana y estrategias institucionales (Nagy et al., 2021).

## **6.2 Diagnóstico gestión integrada de infraestructura**

Los resultados de la Tabla 6 muestran que la gestión integrada de infraestructuras aparece como un concepto deseable, pero difícil de materializar en el contexto chileno actual, caracterizado por una débil comunicación entre sistemas. Si bien, los entrevistados, reconocen la importancia de poseer información propia y de los demás servicios que interactúan en una ciudad, es muy común que los planes diseñados para interactuar entre agencias no se lleven a cabo de manera efectiva por la alta fragmentación institucional y la voluntad del recurso humano.

En este sentido, varios entrevistados coinciden en que la gestión de la infraestructura urbana se realiza de forma sectorial, donde cada agencia administra su propio sistema sin una coordinación efectiva con otros sectores. Un entrevistado señala que *“la información, que tiene cada servicio o cada entidad pública trabaja en una plataforma ‘x’ donde están identificadas sus propias iniciativas y no necesariamente están vinculadas con otras iniciativas que esté desarrollando algún otro servicio”* evidenciando la gestión fragmentada. Esta percepción es consistente con lo planteado por Antúnez y Galilea (2003), quienes advierten que la organización sectorial de los servicios públicos urbanos en América Latina tiende a dificultar la gestión integrada y a reproducir esquemas fragmentados de toma de decisiones.

La falta de coordinación se manifiesta de manera crítica durante la ejecución de intervenciones en el espacio donde conviven geográficamente los distintos servicios. Los entrevistados describen situaciones en las que una infraestructura es intervenida sin considerar proyectos futuros de otros sistemas, lo que genera duplicidad de trabajos, ineficiencias y sobrecostos; un entrevistado señala: *“el primero que llega construye y el segundo va a tener que demoler e instalar el colector y rehacer de nuevo”*. Este tipo de prácticas refleja una ausencia de mecanismos de planificación conjunta señalada por algunos entrevistados que afirman que no existe la gestión integrada y confirma lo señalado por Yang et al. (2018), quienes destacan que la falta de integración entre redes de infraestructura incrementa los conflictos operativos y reduce la eficiencia del sistema urbano.

Por otro lado, gran parte de los entrevistados si reconocen la existencia de instrumentos de planificación, como planes reguladores o planes maestros, que buscan ordenar el desarrollo urbano y dialogar entre los distintos servicios. Sin embargo, estos instrumentos son percibidos como insuficientes para asegurar una gestión integrada efectiva: *“si están los instrumentos, pero al momento de la ejecución no hay tanta coordinación”*.

Otro aspecto recurrente es la importancia de la información a la hora de gestionar. Los entrevistados mencionan que, si bien existen catastros y bases de datos, estos suelen estar aislados, incompletos o restringidos al uso interno de cada institución. Un entrevistado del sector público señala que *“si alguien no lo reporta, no tenemos cómo obligarlo”*, lo que evidencia una dependencia de la voluntad de los actores a compartir la información relevante a los demás servicios involucrados y la necesidad de incorporar un sistema que pueda almacenar la información de manera conjunta.

La ausencia de un ente regulatorio responsable de liderar la gestión integrada aparece como uno de los principales factores que explican esta situación. Un entrevistado señala *“no hay alguien que te frene, que diga no, aquí va a haber una intervención mayor en un par de años más, no, no lo hagas”* y otros se plantean la pregunta sobre quién debería hacerse cargo de coordinar los distintos sistemas, mencionando posibles roles para ministerios o gobiernos regionales. Esta percepción coincide con lo planteado por Setola et al. (2016), quienes señalan que la gestión de infraestructuras complejas requiere

estructuras de gobernanza claras y roles institucionales definidos para evitar la dispersión de responsabilidades.

En conjunto, los resultados de la Tabla 6 configuran un diagnóstico que refuerza los desafíos identificados por Vásquez (2021), quien plantea que la gestión integrada en Chile necesita capacitar el recurso humano, realizar transformaciones en los marcos de gobernanza, disminuir los actores involucrados en la gestión y disponer de recursos tecnológicos para la obtención, almacenamiento y traspaso de la información. Siendo lo último, el incentivo de esta investigación, donde el IoT surge como una herramienta para enfrentar dicho desafío.

### **6.3 Factores habilitadores y limitantes para implementar IoT**

Los resultados de la Tabla 7 muestran que los entrevistados reconocen que la incorporación de tecnologías IoT presenta un alto potencial como herramienta habilitante para mejorar tanto la recolección de datos como la gestión y toma de decisiones considerando las interdependencias de infraestructura de servicios en las ciudades. No obstante, este potencial se encuentra condicionado por limitaciones técnicas, organizacionales y culturales que dificultan su adopción.

En relación con la recolección de datos, las ventajas asociadas al IoT aparecen con alta frecuencia y de manera homogénea entre sectores. Los entrevistados destacan el ámbito económico, la practicidad, el ahorro de tiempo y los avances en conectividad a nivel país como factores habilitantes de su implementación. En términos económicos, el IoT es percibido como una alternativa de bajo costo en comparación con soluciones tradicionales de telemetría, lo que lo vuelve atractivo para servicios públicos y privados con restricciones de presupuesto. Un entrevistado señala que, *“actualmente te cuesta 200 lucas o 300 lucas comprar un equipo LoRa, son súper baratos frente a una radio que te cuesta más de 2.000.000”*, lo que refuerza la idea de un mayor retorno de inversión.

La practicidad, es decir, la facilidad de uso también se menciona como un factor importante, particularmente en contextos donde los procesos dependen del trabajo manual. La posibilidad de contar con dispositivos que se integran rápidamente a plataformas en la nube y entregan información en tiempo real es valorada como una forma de simplificar tareas operativas complejas, incluso peligrosas: *“uno lo enciende, lo agrega a la base de datos que está en la nube, los datos llegan y nosotros hacemos gestión”*. Esta percepción se conecta directamente con una mejora en los métodos de monitoreo actuales, donde se evidenció que gran parte sigue siendo *“artesanal”* y con enfoque reactivo, especialmente en drenaje de aguas lluvias y vialidad.

Asimismo, las menciones sobre el ahorro de tiempo aparecen como una ventaja relevante, ya que la medición automatizada permitiría reducir significativamente las inspecciones en terreno. Un entrevistado señala que, sin este tipo de tecnologías, *“tenemos que estar parados quizás 24 horas durante un mes completo para poder entender qué es lo que está pasando”*, lo que grafica la ineficiencia de los métodos tradicionales actuales frente a escenarios automatizados y digitalizados. A esto se suma la percepción positiva sobre los avances en conectividad en Chile, donde la expansión de redes móviles, fibra óptica y 5G generan un ambiente habilitante para el despliegue de IoT incluso en zonas más aisladas.

No obstante, las ventajas conviven con limitaciones para la recolección de datos, siendo la conectividad la más mencionada. Aunque existe un avance a nivel país, los entrevistados reconocen la dependencia de terceros y la vulnerabilidad ante fallas en la red: *“¿qué pasa si el día de mañana tenemos un problema con un corte de una fibra?”*. Esta preocupación es importante para servicios críticos, donde la pérdida temporal de monitoreo podría afectar la continuidad operativa, como es caso de las sanitarias. También, se menciona la rápida obsolescencia tecnológica, que se asocia a los largos tiempos de planificación e implementación de proyectos, especialmente en el sector público, lo que genera el problema de que *“cuando ya la podemos implementar ya están totalmente obsoletas”*. Finalmente, se suma una barrera sobre la cantidad y calidad de información que se pueda estar recolectando y almacenando: *“si entra basura, sale basura”*, lo que refuerza la necesidad de establecer criterios claros frente a la información que será útil almacenar.

Desde la perspectiva de la gestión y toma de decisiones, el IoT es percibido como una herramienta con un potencial transformador de la estrategia de monitoreo. La ventaja más destacada es la posibilidad de avanzar hacia una planificación y mantenimiento predictivo, cambiando el enfoque reactivo presente hoy en día. Los entrevistados señalan que conocer el estado en tiempo real de la infraestructura permitiría anticiparse a fallas: *“vas a saber cuánta es la duración real de una carpeta asfáltica o de un hormigón y poder tomar las consideraciones necesarias antes que se produzca la falla”*. Este resultado se alinea con la literatura que vincula IoT, mantenimiento predictivo basado en datos y eficiencia en la gestión de activos, como lo plantean Cheng et al. (2020) y Mannino et al. (2021).

La confiabilidad de la información también es reconocida como una ventaja a la hora de tomar decisiones, siempre que los sistemas estén bien calibrados y respaldados científicamente. *“Es perfectamente confiable tanto como un sensor, siempre que los modelos detrás de ese internet de las cosas estén bien calibrados”*, señala un entrevistado, lo que refuerza la idea de que la tecnología en sí no es el principal problema, sino su correcta implementación y gestión. En la misma línea, la optimización de recursos es reconocida como ventaja, tanto en términos de costos como de tiempo, permitiendo focalizar inversiones y reducir ineficiencias: *“podríamos aprovechar de mejor forma los pocos recursos que tenemos, porque podríamos tener la información del estado de esta red y saber dónde destinar recursos”*.

Otro aspecto relevante es la posibilidad de obtener información nueva que actualmente no es utilizada para la gestión por medio del IoT. En el ámbito vial, por ejemplo, se menciona la posibilidad de incorporar variables como tiempos de viaje, conteo y tipo de vehículos que circulan por la vía para asociar las fallas ocurridas, lo que permitiría mejorar los diagnósticos y decisiones: *“hay un montón de información que nosotros no registramos... si hoy día está disponible en la nube y uno pudiese tomar eso y hacer mejores análisis sería ideal”*. Este punto resulta muy importante para la gestión integrada, ya que la información nueva y relevante puede ser información compartida por otros servicios interdependientes, fortaleciendo la necesidad de una gestión integrada entre sistemas urbanos y el desarrollo de plataformas de gestión inteligente para la toma de decisiones (Mohamed, 2024)

Sin embargo, las limitaciones para la implementación de IoT, considerando la gestión de la información, vuelven a poner en evidencia que el desafío no es solo tecnológico. La falta de visión y resistencia al cambio, las restricciones económicas, la confidencialidad de los datos, la discontinuidad de programas y la necesidad de especialización técnica son barreras recurrentes. Un entrevistado lo resume señalando que *“no hay una gran disposición hacia las tecnologías, hacia la innovación... es un tema de estructura organizacional y de mirada”*. Todas estas barreras se relacionan entre sí, ya que el conservadurismo de las instituciones no permite destinar presupuesto a incorporar y mantener los programas de implementación tecnológica con sus respectivas mantenciones y personal adecuado, lo que conecta directamente con los problemas de gobernanza y fragmentación institucional identificados para la gestión integrada en la discusión de resultados asociados a la Tabla 6 y discutidos por Setola et al. (2016) y Vásquez (2021).

La confidencialidad de la información es una brecha presente, principalmente para las empresas sanitarias, por malinterpretaciones que se pueden dar de los datos al ser revisados por una persona externa, un entrevistado señala *“nosotros tenemos datos que son de calidad de servicio, que a veces son maniobras o son situaciones que son interpretables por otros... al no conocer bien la información en particular, se puede malinterpretar”*.

Finalmente, los entrevistados, también hacen recomendaciones para la implementación de IoT, entre ellas están el trabajo conjunto con empresas especializadas en redes IoT o tomar como guía ejemplos de otros países exitosos en temas de digitalización, es decir, *“no hay que inventar la rueda”*; también, incentivar el uso de subsidios públicos y la participación de universidades. Estas ideas refuerzan la necesidad de una estrategia gradual, acompañada y con liderazgo institucional, más que una adopción aislada de tecnologías. Asimismo, se proyecta que en el futuro los beneficios del IoT trasciendan la gestión interna de las instituciones encargadas y se transmitan hacia la calidad de vida de la comunidad, la seguridad y el acceso a información de manera más interactiva para todos, ya sean autoridades o personas naturales.

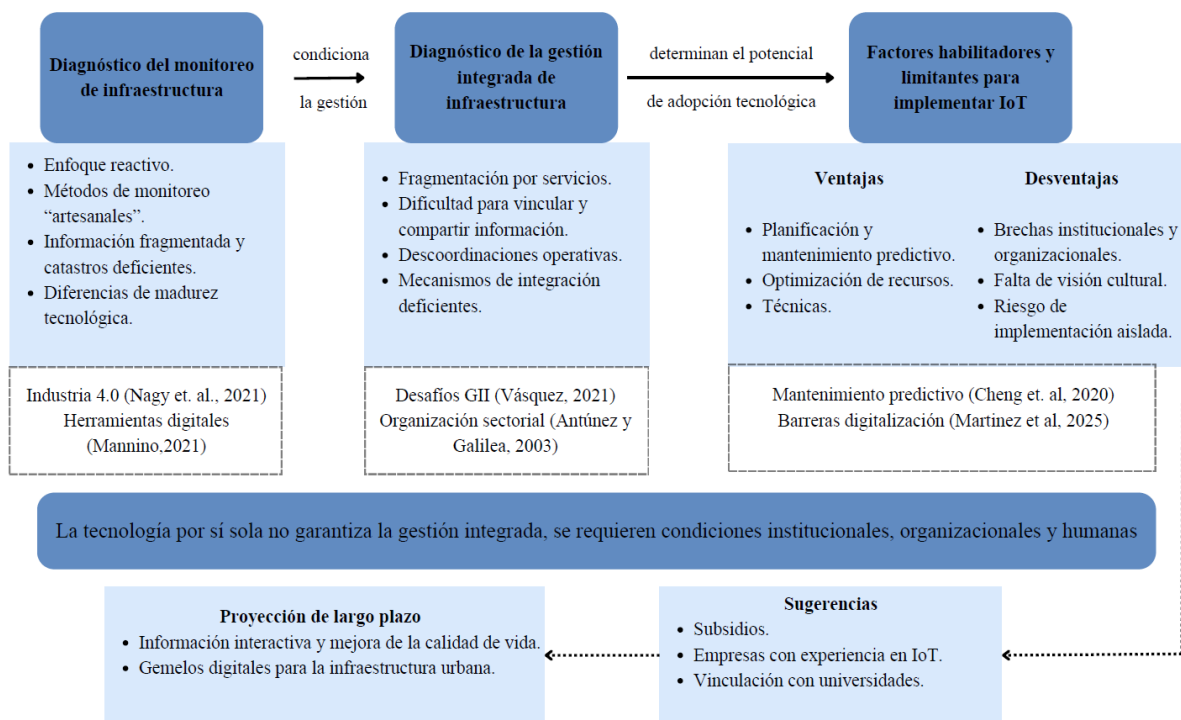
#### **6.4 Discusión integradora de resultados**

El análisis conjunto de los resultados permite comprender que las debilidades observadas en el monitoreo de la infraestructura urbana de los servicios asociados a esta investigación y en la gestión integrada no corresponden a problemas aislados, sino a manifestaciones de un mismo sistema de gestión fragmentado. El dominio de un enfoque reactivo condiciona la capacidad de anticiparse al deterioro de la infraestructura y limita la generación de información útil para la planificación, reforzando una lógica de intervención tardía ya identificada en estudios previos sobre el contexto chileno.

Este enfoque se alinea con el diagnóstico de la gestión integrada caracterizado por los entrevistados, donde la fragmentación institucional, la descoordinación entre agencias y la falta de gobernanza de la información dificultan la toma de decisiones conjuntas. Tal como plantea la literatura de Antúnez & Galilea (2003) y Yang et al. (2018), la gestión fragmentada de los servicios, junto con la ausencia de mecanismos de coordinación que sean efectivos, incrementa las ineficiencias y conflictos operativos, especialmente en contextos donde múltiples infraestructuras conviven en un mismo espacio.

Asimismo, los resultados muestran que el IoT es percibido por los entrevistados como una tecnología con alto potencial para abordar simultáneamente las brechas identificadas en el monitoreo y en la gestión integrada. La digitalización de la recolección de datos, la generación de información continua y la posibilidad de avanzar hacia enfoques predictivos aparecen como ventajas transversales entre sectores, coherente con la literatura que vincula IoT y gestión eficiente de activos, gemelos digitales, edificios, viviendas y ciudades inteligentes (Cheng et al., 2020; Mannino et al., 2021; Shvets et al., 2023; Consuegra, 2024; Gutiérrez, 2020). No obstante, los resultados también evidencian que la incorporación de IoT no garantiza por sí sola una mejora en la gestión integrada. Las limitaciones organizacionales, la falta de capacidades técnicas, la resistencia al cambio y los problemas de gobernanza de la información se mantienen como barreras fuertes. Este hallazgo se alinea directamente con lo planteado por Martínez et al. (2025), quienes identifican que, en el contexto latinoamericano, la adopción de tecnologías digitales avanzadas se ve restringida principalmente por factores organizativos y culturales, además de limitaciones técnicas.

En síntesis, la implementación del IoT es percibida como una herramienta con alto potencial para abordar las debilidades del monitoreo y de la gestión integrada, siempre y cuando existan las condiciones técnicas, organizacionales y culturales que hoy no están completamente resueltas.



**Figura 2: Esquema discusión de resultados.**

Fuente: Elaboración propia.

## 6.5 Contribuciones teóricas y prácticas

Desde una perspectiva teórica, esta investigación contribuye a la literatura sobre la gestión integrada de infraestructura al vincular este concepto con el monitoreo de infraestructura vial, sanitaria y drenaje de aguas lluvias, junto con el uso de tecnologías avanzadas asociadas a la Industria 4.0. El estudio aporta una mirada crítica al evidenciar que el impacto potencial de estas tecnologías no depende únicamente de sus capacidades técnicas, sino que está fuertemente condicionado por factores institucionales, organizacionales y culturales.

Asimismo, la investigación incorpora la perspectiva de actores directamente involucrados en la gestión de infraestructura vial, sanitaria y de drenaje de aguas lluvias, vinculando conceptos teóricos como coordinación, integración de infraestructuras y madurez digital con prácticas observadas en el contexto chileno. De este modo, se confirman y actualizan los desafíos identificados en estudios previos, mostrando cómo estos condicionan la adopción y el potencial uso de tecnologías de digitalización como el Internet de las Cosas.

Desde una contribución práctica, el estudio entrega un diagnóstico del estado actual del monitoreo y de la gestión integrada de la infraestructura, específicamente en los sectores sanitario, de drenaje de aguas lluvias y vialidad. Los resultados permiten identificar brechas y diferencias intersectoriales en términos de madurez tecnológica, disponibilidad de información y coordinación institucional. Además, se identifican las principales ventajas y limitaciones para la incorporación de tecnologías IoT en el contexto de la gestión integrada de infraestructuras para los sectores mencionados. A partir de este análisis, se proponen lineamientos orientados a fortalecer la institucionalidad, promover la participación de la academia y de empresas con experiencia, además de avanzar progresivamente hacia enfoques predictivos y el desarrollo de modelos de gemelos digitales para la infraestructura urbana.

## 7 Conclusiones y recomendaciones

Esta investigación tenía como objetivo analizar cualitativamente la factibilidad del uso de IoT como herramienta contribuyente a avanzar en los desafíos de la gestión integrada de infraestructuras en Chile. Se llevó a cabo mediante el análisis de la literatura y las respuestas de 16 entrevistas semiestructuradas realizadas a profesionales vinculados a la gestión en áreas de operación y mantenimiento de infraestructuras viales, sanitarias y drenaje de aguas lluvias.

Los resultados del estudio indican que el monitoreo actual de los sistemas de infraestructuras urbanas considerados se caracteriza por tener un enfoque reactivo por sobre uno predictivo. Existen brechas relevantes respecto a la madurez tecnológica, automatización y digitalización alcanzada entre sectores, donde las empresas sanitarias muestran un nivel mayor de avance respecto a vialidad y drenaje de aguas lluvias, demostrando una ventaja en la incorporación de tecnologías de la industria 4.0 como el IoT.

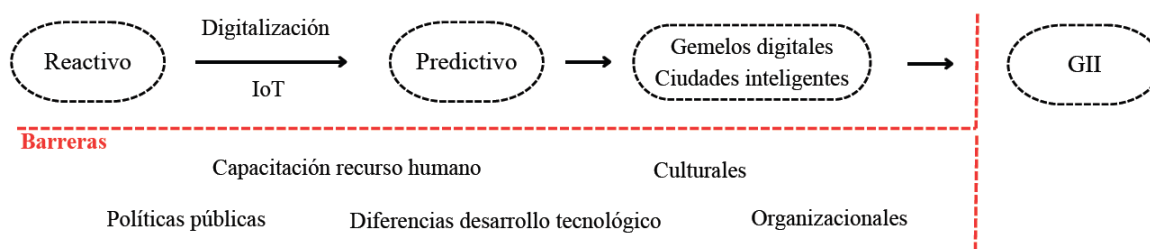
La ausencia de información histórica, georreferenciada y de calidad representa una de las principales limitaciones para realizar una gestión eficiente entre los servicios que interactúan en una ciudad, afectando la capacidad de planificación, priorización de intervenciones y mantenimiento en conjunto.

La gestión integrada de infraestructura se reconoce como débil producto de una organización fragmentada por servicios, ausencia de mecanismos formales y efectivos de coordinación. Por lo tanto, las barreras que dificultan la gestión integrada hoy en día se relacionan con factores organizacionales, institucionales y culturales, más que por limitaciones tecnológicas.

La implementación de IoT es percibida como una tecnología con alto potencial por sus ventajas a la hora de tomar, almacenar y gestionar datos mejorando el monitoreo y permitiendo un cambio del enfoque reactivo actual a uno predictivo orientado al mantenimiento y prevención de fallas. Pero su factibilidad en el contexto de la gestión integrada depende de cambios en las condiciones institucionales, organizaciones y características propias del recurso humano de las instituciones encargadas de la gestión de sistemas de infraestructura de las ciudades.

La incorporación de IoT de forma aislada, es decir, cada servicio a su modo podría reforzar la fragmentación existente, agrandando la brecha en el sentido de la madurez de digitalización, lo que limitaría su aporte a la gestión integrada.

A pesar de las limitaciones, la incorporación de IoT como una herramienta articuladora de un cambio en la gestión integrada es tentativa, siempre y cuando su implementación se acompañe de mejoras en políticas públicas, coordinación interinstitucional y capacitaciones del recurso humano.



**Figura 3: Esquema potencial de IoT para la GII**

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los resultados y conclusiones de esta investigación, se recomienda avanzar en el fortalecimiento del marco institucional y de políticas públicas orientadas a mejorar la coordinación entre los distintos sistemas de infraestructura urbana. En particular, se identifica la necesidad de contar con una entidad centralizada que permita estandarizar, recopilar y resguardar la información asociada a los catastros de infraestructura, similar al rol que cumple el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) en la gestión de datos oficiales. Una institución de este tipo podría contribuir a reducir la fragmentación actual

de la información, facilitar su actualización y mejorar su disponibilidad para la toma de decisiones a nivel urbano.

En este contexto, la recopilación de información debiese incentivar el uso de tecnologías IoT, pero evitando su implementación de manera aislada por cada servicio. La incorporación de IoT debiese enmarcarse en una estrategia común, regulada a nivel institucional, que asegure la existencia de personal capacitado, presupuestos adecuados y criterios técnicos homogéneos entre los distintos organismos responsables de la infraestructura urbana. Para ello, se recomienda promover mecanismos de financiamiento, tales como subsidios o programas específicos, así como el establecimiento de convenios con empresas con experiencia en soluciones IoT y con universidades, que permitan definir las mejores prácticas de implementación, operación y mantenimiento de estos sistemas.

El fortalecimiento de estas capacidades institucionales y técnicas permitiría avanzar progresivamente desde enfoques de monitoreo reactivo hacia estrategias predictivas, orientadas al mantenimiento y la prevención de fallas. En el largo plazo, la integración de catastros digitales, sistemas de monitoreo e información generada mediante IoT abre la posibilidad de avanzar hacia el desarrollo de gemelos digitales de la infraestructura urbana. Estos modelos permitirían contar con representaciones digitales dinámicas de las ciudades, actualizadas en tiempo real, facilitando el análisis de escenarios, la planificación de intervenciones y la toma de decisiones informadas, contribuyendo así a mejorar la calidad de vida de la población.

En el contexto de futuras investigaciones, se sugiere ampliar el alcance del análisis incorporando otros sistemas de infraestructura urbana, con el fin de profundizar la comprensión de las interdependencias entre servicios y los desafíos asociados a su gestión integrada. Asimismo, resulta relevante explorar en mayor detalle los mecanismos institucionales y organizacionales que permitan superar las barreras de coordinación identificadas, así como el rol del recurso humano y el desarrollo de capacidades en los procesos de transformación digital.

Finalmente, se podrían abordar el diseño y evaluación de modelos de gobernanza de datos y estrategias de implementación de gemelos digitales en contextos urbanos, analizando su viabilidad técnica, institucional y social, y su potencial aporte a la resiliencia y sostenibilidad de las ciudades.

## 8 Referencias

- Abu-Samra, S., Ahmed, M., & Amador, L. (2020). Asset Management Framework for Integrated Municipal Infrastructure. *Journal of Infrastructure Systems*, 26(4), 04020039. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)is.1943-555x.0000580](https://doi.org/10.1061/(asce)is.1943-555x.0000580)
- Anabalón, J. (2016). Internet of threats (IoT): Una visión de la arquitectura, aplicaciones, riesgos y desafíos futuros. Universidad de Santiago de Chile. [https://www.researchgate.net/publication/324900392\\_Internet\\_of\\_Threats\\_IoT\\_Una\\_vision\\_de\\_la\\_arquitectura\\_aplicaciones\\_riesgos\\_y\\_desafios\\_futuros](https://www.researchgate.net/publication/324900392_Internet_of_Threats_IoT_Una_vision_de_la_arquitectura_aplicaciones_riesgos_y_desafios_futuros)
- Antúnez, I., & Galilea, S. (2003). Servicios públicos urbanos y gestión local en América Latina y el Caribe: problemas, metodologías y políticas. CEPAL. [http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5770/1/S039607\\_es.pdf](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5770/1/S039607_es.pdf)
- Araya, F., Vasquez, S. (2022). Challenges, drivers, and benefits to integrated infrastructure management of water, wastewater, stormwater and transportation systems. *Sustainable Cities and Society*. Volume 82. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103913>
- Berglund, E. Z., Monroe, J. G., Ahmed, I., Noghabaei, M., Do, J., Pesantez, J. E., Khaksar Fasaee, M. A., Bardaka, E., Han, K., Proestos, G. T., & Levis, J. (2020). Smart Infrastructure: A Vision for the Role of the Civil Engineering Profession in Smart Cities. *Journal of Infrastructure Systems*, 26(2), 1–32. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IS.1943-555X.0000549](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000549)
- Cheng, J. C., Chen, W., Chen, K., & Wang, Q. (2020). Data-driven predictive maintenance planning framework for MEP components based on BIM and IoT using machine learning algorithms. *Automation in Construction*, 112, 103087. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103087>
- Consuegra Elgueta, N. I. (2024). *Casos de uso de la tecnología 5G aplicados a la minería en Chile*. [Tesis de pregrado, Universidad de Chile] Repositorio académico Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/202084>
- Díaz-Bravo, L., Torruco-García, U., Martínez-Hernández, M., & Varela-Ruiz, M. (2013). La entrevista, recurso flexible y dinámico. *Investigación en educación médica*, 2(7), 162-167. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S200750572013000300009&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200750572013000300009&lng=es&tlng=es).
- Di Graziano, A., Marchetta, V., & Cafiso, S. (2020). Structural health monitoring of asphalt pavements using smart sensor networks: A comprehensive review. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 7(5), 639-651. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2020.08.001>
- Fuentes, D. (2023, 11 de julio). 9 aplicaciones de IoT + IA que transformarán a los operadores de agua potable. *Zambia*. <https://blog.zambia.cl/como-iot-y-ia-pueden-beneficiar-a-los-operadores-de-servicios-de-agua-potable/>
- Galvin, R. (2015). How many interviews are enough? Do qualitative interviews in building energy consumption research produce reliable knowledge? *Journal of Building Engineering*, 1, 212. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2014.12.001>
- Gutiérrez *et al.*, "Internet of things in Smart City Santiago," *2020 South American Colloquium on Visible Light Communications (SACVLC)*, Santiago, Chile, 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/SACVLC50805.2020.9129894.
- Halfawy, M. R. (2010). Municipal information models and federated software architecture for implementing integrated infrastructure management environments. *Automation in Construction*, 19(4), 433–446. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.11.013>
- InfraGuide. (2003). *An integrated approach to assessment and evaluation of municipal road, sewer and water networks*. Canada: *InfraGuide innovations and best practices (multi-discipline)*, National Guide to Sustainable Municipal Infrastructure. November.

- Kumar, S., Tiwari, P., & Zymbler, M. (2021). IoT-based smart water management systems: A systematic review. *Materials Today: Proceedings*, 46, 5211–5218.
- Lemer, A. C. (1998). Progress toward integrated infrastructure-assets management systems: GIS and Beyond. In *Innovations in Urban Infrastructure Seminar of the APWA International Public Works Congress* (pp. 7–24).
- Lozano-Allimant, S., Lopez, A., Gomez, M., Atencio, E., Lozano-Galant, J. A., & Fingerhuth, S. (2025). Structural Health Assessment of a Reinforced Concrete Building in Valparaíso Under Seismic and Environmental Shaking: A Foundation for IoT-Driven Digital Twin Systems. *Applied Sciences*, 15(3), 1202. <https://doi.org/10.3390/app15031202>
- Maskuriy, R., Selamat, A., Maresova, P., Krejcar, O., & David, O. O. (2019). Industry 4.0 for the Construction Industry: Review of Management Perspective. *Economies*, 7(3), 68. <https://doi.org/10.3390/economies7030068>
- Mahmoud Mohamed, Khaild Alosman. (2024) An IoT-Enabled Framework for Smart City Infrastructure Management. *TechRxiv*. <https://doi.org/10.36227/techrxiv.170906134.46169506/v1>
- Mannino, A., Dejaco, M. C., & Re Cecconi, F. (2021). Building Information Modelling and Internet of Things Integration for Facility Management—Literature Review and Future Needs. *Applied Sciences*, 11(7), 3062. <https://doi.org/10.3390/app11073062>
- Martinez, J., Giménez, Z., Salazar, L., Alva, L., Alarcón, L., Yeung, T., & Sacks, R (2025). Practices and Barriersto the Adoption of Digital Twin Construction in Latin America. In O. Seppänen, L. Koskela, & K. Murata (Eds.), *Proceedings of the 33rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC33)* (pp. 598–609) <https://doi.org/10.24928/2025/0238>
- Nagy, O., Papp, I., & Szabó, R. Z. (2021). Construction 4.0 Organisational Level Challenges and Solutions. *Sustainability*, 13(21), 12321. <https://doi.org/10.3390/su132112321>
- Namey, E., Guest, G., Thairu, L., & Johnson, L. (2008). Data reduction techniques for large qualitative data sets. *Handbook for Team-Based Qualitative Research*, 2(1), 137–161. <https://www.researchgate.net/publication/265348624>
- Osorio C. C., Herrera, R., Pellicer, E., Buitrago, A. A., & Aristizabal-Torres, D. (2023). Construction 4.0: Cluster analysis and Research perspectives. *Revista ingeniería de construcción*, 38(3). <https://doi.org/10.7764/RIC.00083.21>
- Pour Rahimian, F., Seyedzadeh, S., Oliver, S., Rodríguez, S., & Dawood, N. (2020). Monitoring large-scale construction projects using BIM and machine learning. *Automation in Construction*, 110, 103012. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.103012>
- Rinaldi, S. M., Peerenboom, J. P., & Kelly, T. K. (2001). Identifying, Understanding, and Analyzing, Critical Infrastructure Interdependences. *IEEE Control Systems Magazine*, 21(6), 11–25. <http://dx.doi.org/10.1109/37.969131>
- Rupp, M., Schneckenburger, M., Merkel, M., Börret, R., & Harrison, D. K. (2021). Industry 4.0: A Technological-Oriented Definition Based on Bibliometric Analysis and Literature Review. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 7(1), 68. <https://doi.org/10.3390/joitmc7010068>
- Setola, R., Rosato, V., Kyriakides, E., & Rome, E. (2016). Managing the complexity of critical infrastructures: A modelling and simulation approach. Springer Nature. *Studies in Systems, Decision and Control* 2198-4182. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-51043-9>
- Shahata, K., & Zayed, T. (2016). Integrated risk-assessment framework for municipal infrastructure. *Journal of Construction Engineering and Management*, 142(1), 04015052. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001028](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001028)

- Shvets, Y., & Hanák, T. (2023). Use of the internet of things in the construction industry and facility management: usage examples overview. *Procedia Computer Science*, 219, 1670-1677. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.460>
- Singh, Y., Walingo, T. (2024). Smart water quality monitoring with IoT wireless sensor networks. *Sensors*, 24(9), 2871. <https://doi.org/10.3390/s24092871>
- Sourabh, N., Timbadiya, P. V., & Patel, P. L. (2023). Leak detection in water distribution network using machine learning techniques. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 29(sup1), 177–195.
- Sugiharto, W. H., Susanto, H., & Prasetijo, A. B. (2023). Real-time water quality assessment via IoT: Monitoring pH, TDS, temperature, and turbidity. *Ingénierie des Systèmes d'Information*, 28(4), 823–831. <https://doi.org/10.18280/isi.280403>
- Transportation Officials. (2011). *AASHTO Transportation Asset Management Guide: A Focus on Implementation. (Executive Summary)* (AASHTO (ed.)). <https://www.fhwa.dot.gov/asset/pubs/hif13047.pdf>
- Vásquez, S. (2021). *Desafíos para la Gestión Integrada de los sistemas urbanos de infraestructura vial, sanitaria y de drenaje de aguas lluvias: análisis exploratorio de la realidad chilena*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Federico Santa María] Repositorio USM. <https://repositorio.usm.cl/handle/123456789/59775>
- Yazdani, S., Dola, K., Azizi, M. M., & Yusof, J. M. (2014). Challenges of Coordination in Provision of Urban Infrastructure for New Residential Areas: The Iranian Experience. *Environmental Management and Sustainable Development*, 4(1), 48. <https://doi.org/10.5296/emsd.v4i1.6557>
- Yazdani, S., Yusof, M. J. M., Azizi, M. M., & Ali, A. A. A. (2015). An Agent-Based Framework to Improve Coordination in the Process of Urban Infrastructure Provision in Iran. *International Journal of Environmental Planning and Management*, 1(1), 18–32. <http://psasir.upm.edu.my/id/eprint/43698>
- Yang, Y., Ng, S. T., Xu, F. J., & Skitmore, M. (2018). Towards sustainable and resilient high density cities through better integration of infrastructure networks. *Sustainable Cities and Society*, 42, 407–422. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.07.013>
- Zhang, C., Chen, Y., Chen, H. *et al.* Industry 4.0 and its Implementation: a Review. *Inf Syst Front* 26, 1773–1783 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10796-021-10153-5>

## 9 Anexo

### Anexo A: Guía de preguntas entrevista semiestructurada

Categoría	Preguntas
<b>Caracterización del entrevistado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ ¿Cuál es su nivel educativo más alto alcanzado y cargo actual?</li> <li>○ ¿Qué actividades realiza y cuántos años de experiencia tiene en el rubro?</li> </ul>
<b>Monitoreo actual</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Desde su experiencia, ¿cómo describiría el estado actual del monitoreo y gestión de las infraestructuras viales/sanitarias/drenaje de aguas lluvias en Chile?</li> <li>○ ¿Qué herramientas o tecnologías se utilizan actualmente en su organización para el monitoreo y gestión de infraestructuras? ¿Considera que se articulan de manera integrada entre distintos sistemas de infraestructuras?</li> <li>○ ¿Cuáles son los principales problemas que se enfrentan actualmente respecto al monitoreo de las infraestructuras?</li> </ul>
<b>Conocimiento de IoT</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ ¿Ha escuchado o trabajado con soluciones basadas en Internet de las Cosas (IoT)?, respuesta afirmativa: ¿en qué?, cuénteme, en caso de ser negativa, ¿cuál cree que sea la razón?</li> <li>○ ¿Qué tan confiable considera que es el uso de sensores y dispositivos IoT para la toma de decisiones críticas en gestión de infraestructura? ¿Considera que es importante implementar tecnologías IoT para el monitoreo de la infraestructura?</li> <li>○ A través del tiempo, ¿ha observado esfuerzos de su agencia para implementar nuevas tecnologías que mejoren el monitoreo de la infraestructura y la interdependencia con otras agencias de infraestructura?</li> </ul>
<b>Beneficios y barreras del IoT</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ ¿Qué beneficios cree que podría aportar el uso de IoT en el monitoreo considerando la gestión integrada de diferentes sistemas de infraestructura urbana en Chile?</li> <li>○ ¿Qué limitaciones tecnológicas identifica para la implementación de IoT en Chile?</li> <li>○ ¿Cuáles considera que son las principales barreras institucionales, económicas o culturales para su implementación?</li> </ul>

---

**Mirada futura**

- ¿Qué cambios serían necesarios en políticas públicas, normativas o gobernanza para facilitar la adopción de IoT? ¿debería existir una institución que se encargue de gestionar la integración de las infraestructuras urbanas?
- Si tuviera que priorizar, ¿en qué tipo de infraestructura considera más urgente incorporar IoT: vial, ¿sanitaria o drenaje de aguas lluvias? ¿Por qué?
- ¿Cómo imagina la gestión de infraestructuras en Chile dentro de 15 años si estas tecnologías se implementaran? ¿En qué aspectos el uso del IoT podría mejorar la eficiencia para una gestión integrada de Infraestructura en Chile?

---

Fuente: Elaboración propia.