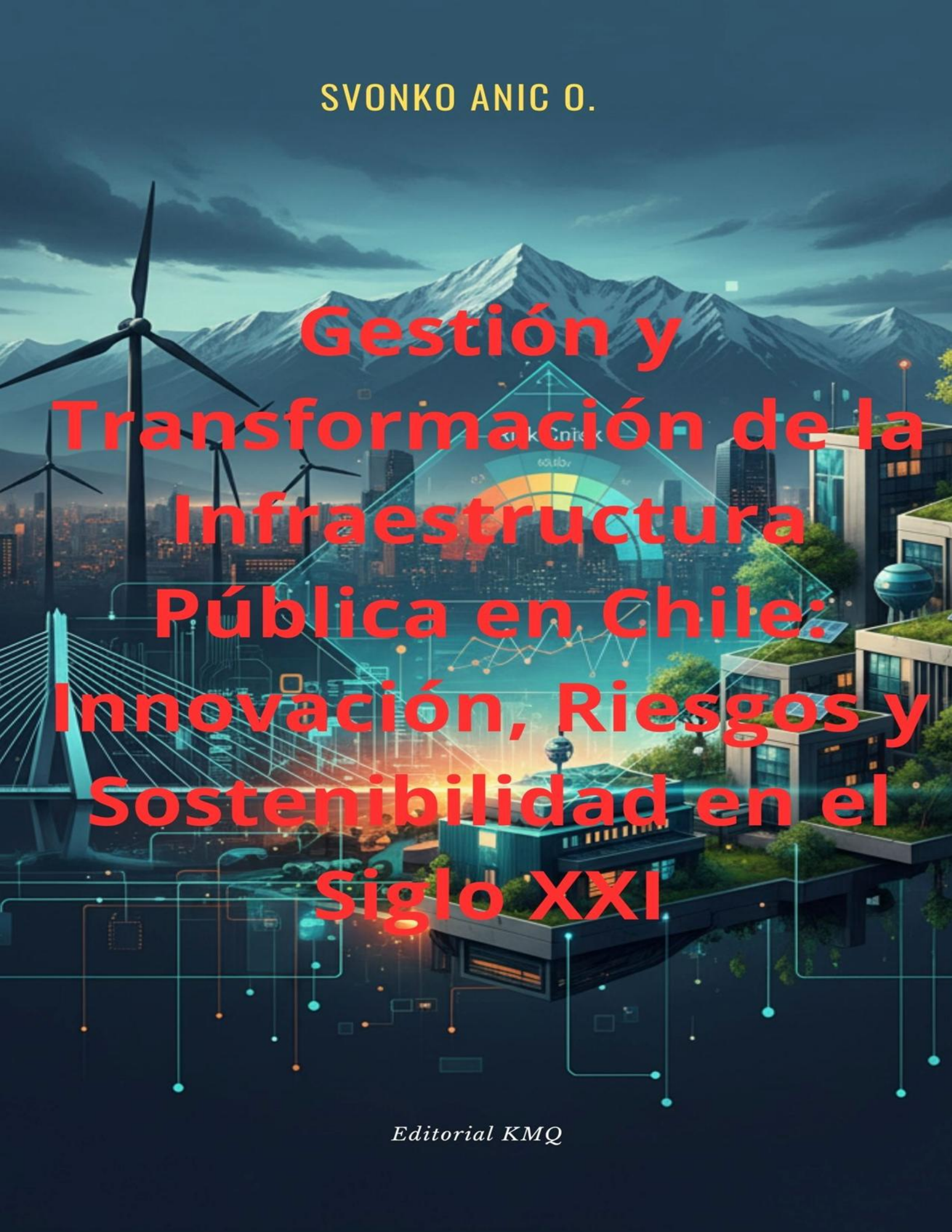


SVONKO ANIC O.

The background features a futuristic cityscape at dusk. On the left, several wind turbines are visible against a dark sky. In the center, snow-capped mountains rise above a city with glowing lights. The foreground shows modern buildings with green roofs and digital overlays, including a colorful circular graphic and various data lines. The overall scene is illuminated with a mix of blue, green, and orange tones, suggesting a blend of nature and technology.

**Gestión y  
Transformación de la  
Infraestructura  
Pública en Chile:  
Innovación, Riesgos y  
Sostenibilidad en el  
Siglo XXI**

*Editorial KMQ*

# Prologo

La infraestructura pública constituye uno de los pilares esenciales sobre los cuales se construye la vida social, económica y cultural de un país. En Chile, los procesos de modernización del Estado y la necesidad de responder a las demandas de una ciudadanía cada vez más exigente han impulsado transformaciones profundas en la gestión pública. Este libro nace de la convicción de que la ingeniería industrial, la innovación tecnológica y la sostenibilidad no son elementos accesorios, sino fuerzas estructurales capaces de redefinir la manera en que concebimos, planificamos y administramos los proyectos de infraestructura.

El presente texto ofrece una visión integral, multidisciplinaria y contextualizada de los desafíos y oportunidades que enfrenta Chile en esta materia. Su propósito no es solo describir metodologías y casos de estudio, sino también abrir un espacio de reflexión crítica que permita repensar la gobernanza pública y el rol de la ingeniería como motor de equidad y progreso social.

## Contenido

Prologo .....	2
Introducción .....	4
Capítulo 1: Fundamentos Metodológicos y Optimización .....	5
Capítulo 2: Gestión, Ejecución y Calidad en Proyectos Públicos .....	10
Capítulo 3: Innovación y Mejora Continua en el Sector Público .....	20
Capítulo 4: Tecnologías Disruptivas e Infraestructura Digital .....	28
Capítulo 5: Sostenibilidad, Ambiente y Economía Circular .....	41
Capítulo 6: Logística, Cadena de Suministro y Mantenimiento de Activos .....	47
Capítulo 7: Riesgo, Seguridad y Resiliencia en Proyectos Públicos de Infraestructura .....	53
Capítulo 8: Gobernanza, Ética y Participación Ciudadana .....	60
Capítulo 9: Desafíos Financieros (APP y Bonos).....	66
Conclusión General .....	71
Glosario.....	72
Bibliografía .....	73

# Introducción

La obra se organiza en torno a un análisis sistemático de los elementos que configuran la gestión de la infraestructura pública en Chile: los fundamentos metodológicos de la ingeniería industrial, la gestión y control de proyectos, la innovación y la mejora continua, la adopción de tecnologías disruptivas, la sostenibilidad ambiental y la economía circular, la logística y mantenimiento de activos, así como los marcos éticos, de gobernanza y participación ciudadana.

Cada capítulo articula teoría, práctica y estudios de caso nacionales, mostrando cómo la aplicación de metodologías internacionales (Lean, Six Sigma, PMBOK, Agile, BIM, IoT, Big Data, blockchain) ha permitido avanzar en eficiencia, transparencia y calidad en sectores como transporte, salud, educación, energía y seguridad.

En este contexto, la infraestructura pública no se entiende únicamente como un conjunto de obras físicas, sino como un entramado social, institucional y tecnológico que debe garantizar derechos, reducir desigualdades y proyectar un desarrollo sostenible. La mirada que aquí se ofrece busca trascender lo meramente técnico para situar la discusión en el horizonte ético, político y ciudadano que demanda la sociedad chilena contemporánea.

# Capítulo 1: Fundamentos Metodológicos y Optimización

## 1.1 Introducción

En la contemporaneidad, la ingeniería industrial ha trascendido los límites clásicos del ámbito privado para erigirse como un componente fundamental en la transformación del sector público y la modernización del Estado. Su influencia se hace evidente en la capacidad de rediseñar y gestionar servicios estratégicos como la salud, la educación, la seguridad y el transporte, que constituyen los pilares del bienestar ciudadano. Dichos ámbitos se encuentran constantemente tensionados por crecientes demandas sociales, restricciones presupuestarias, marcos regulatorios complejos y una necesidad permanente de legitimidad institucional. En este contexto, la ingeniería industrial, con su acervo metodológico y enfoque sistémico, se convierte en una disciplina indispensable para promover procesos de mejora continua y garantizar que la administración pública responda con eficiencia, transparencia y equidad.

El ingeniero industrial, en este escenario, no se limita a replicar técnicas de eficiencia utilizadas en la empresa privada, sino que adapta e innova sobre ellas para dar respuesta a problemáticas que trascienden lo económico y se vinculan con lo político, lo social y lo cultural. Su papel como articulador entre la racionalidad técnica y las necesidades colectivas implica una visión integral de la gestión pública, en la que los procesos son optimizados no solo en términos de costos y tiempos, sino también bajo criterios de equidad, inclusión y sostenibilidad a largo plazo. Así, la ingeniería industrial se posiciona como un puente entre la búsqueda de eficacia administrativa y el imperativo de garantizar derechos sociales y bienestar colectivo.

## 1.2 Definición y Habilidades del Ingeniero Industrial

### Naturaleza del Ingeniero Industrial

El ingeniero industrial es un profesional de formación holística que conjuga conocimientos de matemática aplicada, estadística, economía, ciencias sociales y administración, orientado a la concepción, análisis y perfeccionamiento de sistemas complejos. Estos sistemas involucran interacciones dinámicas entre personas, tecnologías, información y recursos materiales, y requieren de una visión amplia capaz de integrar aspectos técnicos con dimensiones sociales y éticas. La transversalidad de la disciplina le permite desempeñarse en diversos dominios, desde el rediseño de procesos productivos hasta la formulación de políticas públicas basadas en evidencia.

### Competencias Esenciales

1. **Gestión de Procesos:** Implementación de metodologías como Lean, Six Sigma y la reingeniería de procesos para identificar cuellos de botella, eliminar ineficiencias estructurales y elevar la calidad de los servicios estatales.

2. **Gestión de Proyectos:** Uso de metodologías internacionales (PMBOK, Agile, Scrum) adaptadas al contexto normativo estatal, con el fin de materializar proyectos de alto impacto social que respondan a prioridades colectivas.
3. **Inteligencia de Datos y Decisiones Basadas en Evidencia:** Aplicación de Big Data, analítica avanzada y modelamiento predictivo para fundamentar decisiones de política pública, optimizando la distribución de recursos escasos.
4. **Sostenibilidad y Responsabilidad Pública:** Integración de criterios ambientales, sociales y de gobernanza (ASG) en los procesos públicos, alineados con compromisos internacionales como la Agenda 2030.
5. **Innovación y Tecnologías Emergentes:** Incorporación de tecnologías digitales, inteligencia artificial, blockchain y automatización en la administración pública para incrementar su capacidad adaptativa y resiliencia.

### Ámbitos de Actuación

El ingeniero industrial despliega su accionar en sectores críticos como salud, educación, transporte, energía y seguridad. A diferencia del sector privado, donde la rentabilidad constituye el objetivo principal, en el ámbito público la finalidad es maximizar el valor social, mejorar la calidad de vida ciudadana y fortalecer la legitimidad de las instituciones.

### 1.3 Contrastes entre el Sector Público y el Privado

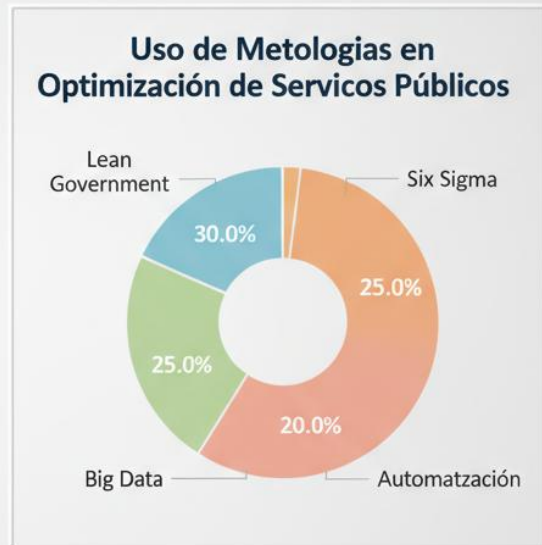
1. **Finalidad Estratégica:** En el sector privado, la maximización de utilidades es el motor central; en el sector público, la meta radica en asegurar bienestar colectivo, justicia social y acceso equitativo a bienes y servicios.
2. **Restricciones de Recursos:** La insuficiencia de medios financieros, humanos y tecnológicos en el ámbito estatal obliga a diseñar estrategias de optimización rigurosas que garanticen el máximo aprovechamiento de los recursos disponibles.
3. **Normativa y Burocracia:** La densidad regulatoria y la rigidez institucional constituyen un reto constante, ralentizando la implementación de innovaciones. Esto exige soluciones que sean no solo técnicamente viables, sino también compatibles con marcos legales y principios de gobernanza.

### 1.4 Ámbitos de Aplicación de la Ingeniería Industrial en los Servicios Públicos

#### Dominios Relevantes

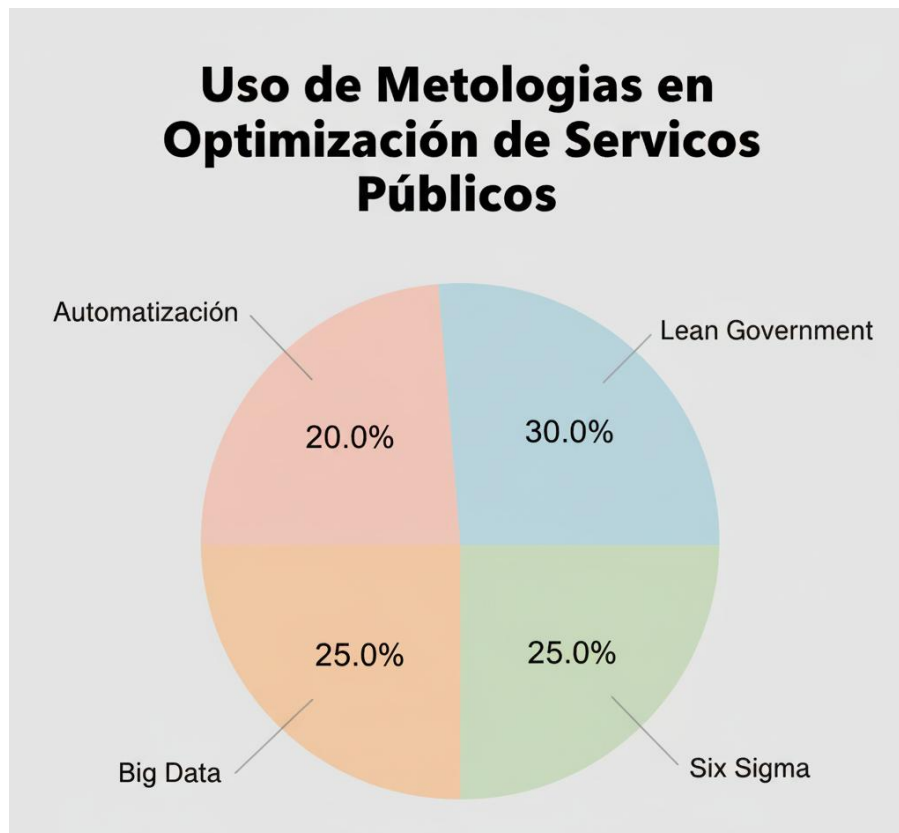
- **Salud Pública:** Optimización de flujos de atención clínica, rediseño de procesos hospitalarios y gestión avanzada de cadenas de suministro médico mediante Lean Healthcare, lo que reduce tiempos de espera y aumenta la satisfacción del paciente.

- **Transporte Público:** Diseño de algoritmos de optimización para coordinar rutas, frecuencias y mantenimiento de flotas, utilizando herramientas de IoT y Big Data que permiten ajustes en tiempo real según la demanda.
- **Seguridad Pública:** Implementación de modelos predictivos para mejorar la asignación de patrullajes policiales, creación de sistemas de alerta temprana y simulaciones para gestionar emergencias urbanas y desastres naturales.
- **Educación Pública:** Planificación estratégica de horarios escolares, gestión de recursos educativos y rediseño de infraestructura para maximizar la cobertura y calidad del sistema.



## Herramientas Metodológicas

- **Lean Government:** Adaptación de los principios Lean al ámbito estatal para eliminar desperdicios, reducir tiempos de respuesta y elevar la calidad de la atención ciudadana.
- **Six Sigma:** Aplicación de técnicas estadísticas para reducir la variabilidad en los procesos administrativos y mejorar la consistencia de los servicios.
- **Big Data y Analítica Predictiva:** Generación de inteligencia estratégica a partir del análisis masivo de datos, lo que permite anticipar demandas ciudadanas y planificar políticas públicas más eficaces.



### 1.5 Casos de Referencia en Chile

- **Gestión de Residuos en Santiago:** Aplicación de Lean Management que permitió reducir tiempos de recolección, optimizar recursos logísticos y aumentar la satisfacción ciudadana.
- **Sistema de Salud Pública:** Implementación de sistemas automatizados de control de inventarios en hospitales públicos, disminuyendo costos operativos y aumentando la disponibilidad de insumos médicos.

- **Transporte Público Metropolitano:** Introducción de tecnologías de mantenimiento predictivo en la red de Metro y buses, lo que redujo interrupciones y mejoró la confiabilidad del sistema.
- **Seguridad Pública:** Uso de herramientas de análisis predictivo por Carabineros para asignar recursos en zonas críticas, mejorando la eficacia en la prevención del delito.
- **Educación Pública:** Empleo de sistemas de análisis de datos para optimizar la distribución de materiales educativos y mejorar la eficiencia administrativa en el Ministerio de Educación.

## 1.6 Recomendaciones Estratégicas

1. **Proyectos Piloto Controlados:** Implementación inicial de metodologías en entornos delimitados para validar su pertinencia y escalabilidad antes de un despliegue a gran escala.
2. **Capacitación Continua y Desarrollo de Competencias:** Formación constante de funcionarios públicos en herramientas de gestión, optimización y análisis de datos, con el fin de garantizar una administración moderna y profesionalizada.
3. **Innovación Tecnológica y Digitalización:** Incorporación de plataformas de gestión digital, sistemas de analítica en tiempo real y tecnologías emergentes que fortalezcan la gobernanza pública.
4. **Sinergias Público-Privadas:** Establecimiento de asociaciones estratégicas que permitan aprovechar la experiencia y el conocimiento del sector privado para robustecer la gestión pública.
5. **Sostenibilidad Integral y Largo Plazo:** Adopción de prácticas que conjuguen eficiencia operativa con sostenibilidad ambiental, equidad social y resiliencia institucional.

## 1.7 Conclusiones

El ingeniero industrial se configura como un agente transformador del aparato estatal y un mediador entre la racionalidad técnica y los objetivos sociales. Su dominio de metodologías avanzadas como Lean, Six Sigma y Big Data dota al sector público de herramientas idóneas para construir sistemas más ágiles, transparentes, resilientes y centrados en el ciudadano. El reto esencial reside en compatibilizar la eficiencia operativa con la responsabilidad social, asegurando que la gestión de recursos públicos se traduzca en beneficios concretos, equitativos y sostenibles para toda la población.

En síntesis, la ingeniería industrial no solo optimiza la eficiencia de los servicios públicos, sino que también refuerza la legitimidad institucional, fomenta la confianza ciudadana y contribuye a un modelo de gobernanza que prioriza el bienestar colectivo. Los fundamentos metodológicos y la optimización no deben entenderse como meros instrumentos técnicos, sino como principios estructurales que posibilitan un Estado moderno, eficiente y profundamente comprometido con la equidad, la sostenibilidad y el progreso social de largo plazo.

# Capítulo 2: Gestión, Ejecución y Calidad en Proyectos Públicos

## 2.1 Introducción

La gestión de proyectos en el sector público constituye un campo de creciente complejidad y trascendencia estratégica para la implementación efectiva de políticas públicas. Lejos de limitarse a la mera ejecución administrativa, representa un mecanismo de articulación entre el diseño de políticas y la provisión de bienes y servicios colectivos que impactan directamente en la calidad de vida de la ciudadanía. A diferencia del ámbito privado, donde prevalecen criterios de rentabilidad financiera y eficiencia operativa inmediata, la gestión pública se desenvuelve bajo un entramado de múltiples condicionantes: burocracia institucionalizada, regulaciones estrictas, presupuestos limitados, presiones políticas y expectativas sociales que demandan transparencia y legitimidad.

En este escenario, la ingeniería industrial no solo provee un conjunto de técnicas instrumentales, sino que se erige como un enfoque integral de gobernanza. Sus aportes abarcan desde la planificación estratégica y la gestión de riesgos hasta el diseño de indicadores de desempeño y la optimización de procesos complejos. Este capítulo integra una perspectiva amplia que abarca marcos metodológicos reconocidos internacionalmente como PMBOK, enfoques ágiles y prácticas de Lean/Lean Construction, junto con sistemas de aseguramiento de calidad como ISO 9001, Six Sigma y KPIs, articulados en un marco de evaluación y monitoreo permanente. El análisis se contextualiza en la experiencia chilena, particularmente en el desarrollo de infraestructura y servicios públicos, donde convergen los desafíos más visibles de eficiencia, calidad y sostenibilidad.

## 2.2 Principios rectores de la gestión pública de proyectos

**Transparencia y rendición de cuentas.** Todo proyecto financiado con fondos públicos debe garantizar la trazabilidad de las decisiones, la apertura de la información y la validación ciudadana de los resultados obtenidos. No se trata solo de cumplir formalidades legales, sino de consolidar confianza institucional y legitimidad social.

**Cumplimiento normativo.** La gestión pública está circunscrita a un entramado jurídico y administrativo que condiciona cada fase del ciclo de vida del proyecto. El cumplimiento de normativas ambientales, estándares de seguridad y disposiciones de compras públicas asegura tanto la legalidad del proceso como la equidad en el acceso a los recursos.

**Enfoque en el bienestar ciudadano.** A diferencia de los proyectos privados, orientados a clientes específicos, los proyectos públicos son diseñados como bienes comunes. La centralidad del usuario exige una visión de equidad territorial, accesibilidad universal e inclusión de grupos vulnerables.

**Gestión bajo condiciones restrictivas.** La escasez de recursos financieros y humanos, junto con marcos temporales poco flexibles, obliga a priorizar iniciativas de mayor impacto social y a desplegar mecanismos rigurosos de control de costos y tiempos.

**Sostenibilidad.** Los proyectos públicos contemporáneos no pueden desvincularse de sus implicancias ambientales y sociales. La integración de evaluaciones de impacto ambiental (EIA), metodologías de ciclo de vida y prácticas de economía circular constituyen condiciones necesarias para la aceptación social y la viabilidad a largo plazo.

**Gobernanza basada en datos.** El despliegue de sistemas de información y monitoreo en tiempo real fortalece la capacidad del Estado para tomar decisiones basadas en evidencia, permitiendo ajustes dinámicos y evaluaciones comparativas a lo largo del tiempo.

## Sección 2.2

### Principios Rectores de la Gestión Pública de Proyectos



## 2.3 Fases del ciclo de vida de proyectos

1. **Iniciación.** Incluye el diagnóstico del problema público, la definición de objetivos específicos, medibles, alcanzables, realistas y temporales (SMART), la delimitación del alcance y la elaboración de estudios de prefactibilidad técnica, económica y social.
2. **Planificación.** Se construye la estructura de desglose del trabajo (EDT/WBS), se establecen cronogramas mediante diagramas de Gantt o rutas críticas (CPM), y se elaboran planes detallados de presupuesto, adquisiciones, comunicación, gestión de riesgos, seguridad y aseguramiento de calidad.
3. **Ejecución.** Abarca la coordinación de múltiples actores, la gestión de contratistas, la implementación de sistemas de calidad y la supervisión de los recursos físicos y financieros, con énfasis en la flexibilidad ante cambios imprevistos.
4. **Monitoreo y control.** Se aplican técnicas de Valor Ganado (EVM) para comparar costos y plazos planificados con los reales, se supervisan indicadores clave de desempeño (KPIs), y se ejecutan auditorías técnicas, financieras y regulatorias.
5. **Cierre y transferencia.** Comprende la validación final de entregables, la recepción formal por parte de la autoridad competente, la documentación de lecciones aprendidas, la capacitación de operadores y la evaluación ex post para verificar la sostenibilidad y el impacto social de la intervención.



### Comparación de actividades principales por fase.

Fase	Actividades clave	Herramientas utilizadas
Iniciación	Diagnóstico, definición de alcance	Estudio de viabilidad
Planificación	EDT, cronogramas, presupuesto	Gantt, CPM
Ejecución	Coordinación, supervisión	Gestión de contratistas
Monitoreo	KPIs, auditorías, EVM	Tableros de control
Cierre	Validación, lecciones aprendidas	Informes finales

## 2.4 Marcos metodológicos aplicados en la gestión pública

### PMBOK

El PMBOK se ha consolidado como referencia universal en la estructuración de procesos de gestión de proyectos. Su aporte radica en la sistematización de áreas de conocimiento como integración, alcance, tiempo, costos, calidad, recursos humanos, comunicaciones, riesgos, adquisiciones y gestión de interesados. En Chile, su uso se ha institucionalizado en proyectos de infraestructura de gran envergadura, donde el Ministerio de Obras Públicas (MOP) lo aplica para garantizar consistencia y uniformidad en la ejecución.

### Enfoques Ágiles (Scrum/Kanban)

El valor de los enfoques ágiles en la gestión pública radica en su capacidad para abordar entornos de alta incertidumbre, especialmente en proyectos digitales y de innovación organizacional. La lógica iterativa de Scrum, con sus sprints y revisiones constantes, y la visualización de Kanban, con sus tableros de flujo de trabajo, permiten una adaptabilidad inmediata frente a demandas cambiantes y necesidades emergentes.

### Lean Management y Lean Construction

La transferencia de los principios Lean al ámbito público persigue la reducción sistemática de desperdicios, la optimización de procesos y la maximización de valor. Herramientas como el **Last Planner System**, que fomenta la planificación colaborativa, o el **Value Stream Mapping**, que permite mapear y eliminar actividades sin valor agregado, se han adaptado a obras de infraestructura pública para aumentar la eficiencia y la confiabilidad de los plazos.

## 2.5 Aseguramiento y control de la calidad

### ISO 9001

Este estándar internacional se centra en la gestión por procesos, la mejora continua y la orientación al ciudadano como cliente. En el sector público chileno, se ha utilizado para estandarizar trámites masivos, como matrículas escolares y emisión de documentos de identidad, logrando reducir tiempos de atención y mejorar la percepción ciudadana de eficiencia.

### Six Sigma

La metodología Six Sigma se ha incorporado al ámbito público a través de proyectos de reducción de variabilidad y defectos. El ciclo **DMAIC** (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) se aplica en procesos críticos como la atención hospitalaria o la clasificación aduanera. El indicador Cpk permite evaluar la capacidad de los procesos frente a límites de especificación, posicionando la gestión pública en estándares de clase mundial.

### KPIs

Los KPIs constituyen instrumentos estratégicos para evaluar el desempeño y facilitar la rendición de cuentas. Al definir métricas específicas para sectores clave —salud, educación, seguridad e infraestructura— se generan bases comparativas que orientan decisiones y permiten identificar áreas de mejora.

#### Relación de metodologías de calidad con aplicaciones en el sector público.

Metodología	Objetivo	Ejemplo en Chile
ISO 9001	Estandarización y mejora continua	Registro Civil
Six Sigma	Reducción de variabilidad	Aduanas
KPIs	Medición de desempeño	SII, hospitales

## 2.6 Retos en infraestructura pública

**Presupuestos limitados y sobrecostos.** La presión por ejecutar grandes obras con recursos finitos requiere controles rigurosos de costos, aplicación de Lean Construction y mecanismos de gestión contractual basados en desempeño.

**Retrasos y fragmentación de actores.** La multiplicidad de contratistas y organismos involucrados incrementa la complejidad. La integración a través de BIM en sus dimensiones 3D (diseño), 4D (tiempo) y 5D (costo) permite reducir incompatibilidades y optimizar la coordinación.

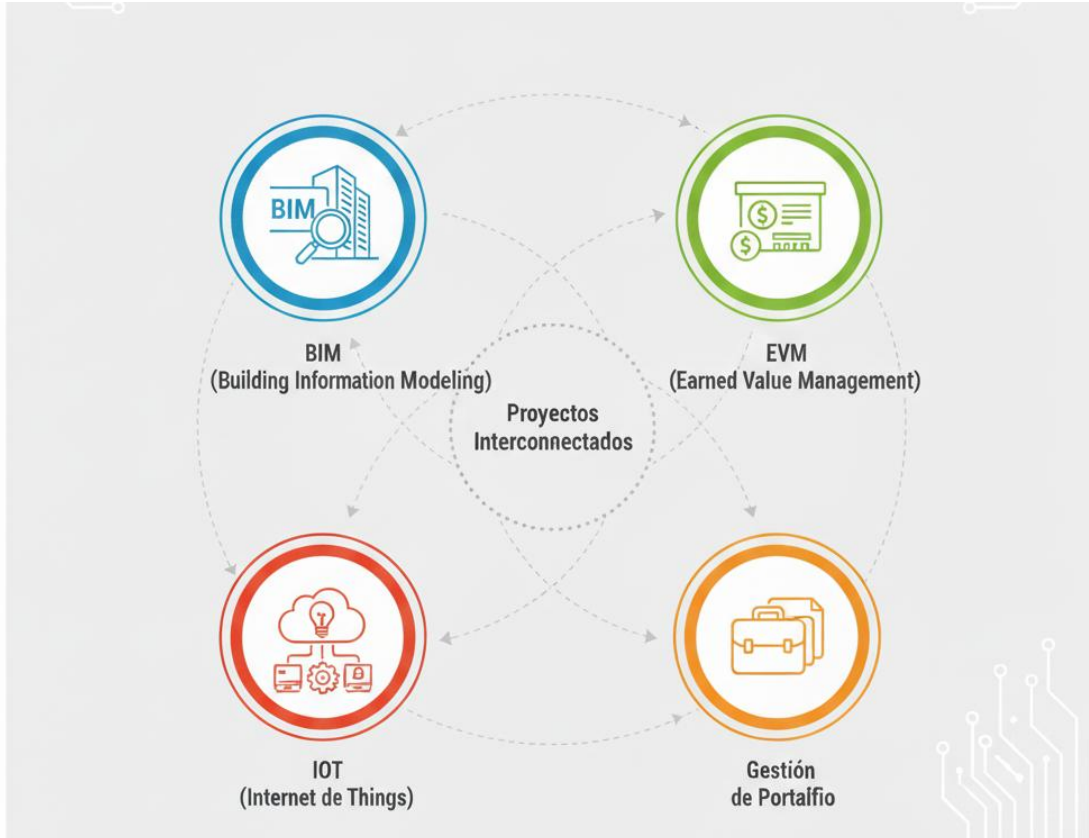
**Impactos ambientales y sociales.** La construcción de grandes infraestructuras conlleva riesgos significativos sobre ecosistemas y comunidades. Las evaluaciones ambientales y los procesos de

participación ciudadana temprana son indispensables para asegurar la legitimidad y mitigar impactos negativos.

**Sostenibilidad operativa.** Más allá de la construcción, los proyectos deben diseñarse considerando su operación y mantenimiento a largo plazo. Contratos basados en desempeño e integración de tecnologías IoT permiten garantizar su vigencia y eficiencia durante décadas.

## 2.7 Herramientas y dispositivos avanzados

- **BIM (Building Information Modeling).** Proporciona un modelo colaborativo que integra a arquitectos, ingenieros y contratistas en un entorno común, reduciendo conflictos y mejorando la trazabilidad.
- **EVM (Earned Value Management).** Permite evaluar desempeño financiero y temporal a través de índices como CPI (Cost Performance Index) y SPI (Schedule Performance Index), facilitando la toma temprana de decisiones correctivas.
- **Monitoreo IoT.** La instalación de sensores inteligentes en infraestructuras críticas posibilita el seguimiento continuo del tráfico, la condición estructural y el consumo energético, favoreciendo la asignación dinámica de recursos.
- **Gestión ágil de portafolios.** Aplicada al ámbito estatal, posibilita la priorización dinámica de proyectos según valor social generado, nivel de riesgo y restricciones presupuestarias.



## 2.8 KPIs sectoriales

**Salud:** tiempos de espera promedio por especialidad, tasas de ausentismo en citas médicas, ocupación de camas UCI, indicadores de seguridad del paciente y niveles de satisfacción usuaria.

**Educación:** tasas de graduación y retención, resultados de evaluaciones nacionales como SIMCE, índices de deserción escolar, equidad en resultados académicos y percepciones de calidad por parte de estudiantes y familias.

**Administración:** tiempos de resolución de trámites, porcentaje de trámites digitalizados, cumplimiento de SLA en atención ciudadana, número de quejas resueltas dentro de plazos.

**Seguridad:** tasas de criminalidad por 100.000 habitantes, tiempos de respuesta ante emergencias, porcentaje de casos esclarecidos y confianza ciudadana en instituciones policiales.

**Transporte e infraestructura:** costos de construcción por kilómetro, condición de pavimentos (IRI), congestión en horas punta, puntualidad del transporte público y reducción de emisiones asociadas.

### KPIs por sector.

Sector	KPI principal	Indicador complementario
Salud	Tiempo de espera	Ocupación UCI
Educación	Tasa de graduación	Resultados SIMCE
Administración	Tiempo de trámite	% digitalización
Seguridad	Tasa de criminalidad	Tiempo de respuesta
Transporte	Costo por km	Puntualidad

## 2.9 Estudios de caso en Chile

- **Metro de Santiago.** En la expansión de la red, se aplicaron simultáneamente CPM, LPS y BIM, optimizando fases de construcción, minimizando conflictos contractuales y garantizando seguridad y calidad.
- **ChileAtiende.** Se implementó un enfoque ágil, permitiendo entregas incrementales de servicios digitales y una mejora continua de la experiencia de usuario.
- **MINVU.** En proyectos de vivienda social, la combinación de PMBOK y Lean optimizó la cadena de suministro, redujo costos y permitió ampliar la cobertura de beneficiarios.
- **Registro Civil.** Con la implementación de ISO 9001 y el uso de KPIs, se redujeron significativamente los tiempos de espera y la tasa de errores en documentos oficiales.

- **Aduanas.** La metodología Six Sigma permitió disminuir los tiempos de clasificación de productos y reducir la variabilidad en trámites de importación.

## 2.10 Evaluación de desempeño

**Objetivos definidos ex ante.** Los proyectos requieren de objetivos medibles vinculados a impacto social y resultados operativos verificables.

**Monitoreo continuo.** Tableros digitales permiten la visualización en tiempo real de indicadores clave y favorecen la toma de decisiones ágiles.

**Auditorías integrales.** Revisiones técnicas, financieras y regulatorias garantizan cumplimiento y uso eficiente de recursos.

**Evaluaciones de impacto.** La combinación de estudios ex ante y ex post asegura que los proyectos no solo cumplan con sus metas iniciales, sino que también generen externalidades positivas.

**Participación ciudadana.** Mecanismos de retroalimentación directa consolidan legitimidad democrática y mejoran la pertinencia de las intervenciones.

**Gestión del conocimiento.** Los repositorios de lecciones aprendidas permiten replicar buenas prácticas y evitar errores recurrentes en futuras iniciativas.

## 2.11 Estrategias de consolidación

1. **Integración tecnológica.** Adopción de herramientas digitales como BIM, IoT, Big Data e inteligencia artificial para mejorar la trazabilidad, el mantenimiento predictivo y la transparencia.
2. **Asociaciones público-privadas (APP).** Creación de marcos contractuales que integren indicadores de desempeño y garanticen una adecuada distribución de riesgos entre Estado y sector privado.
3. **Modelos híbridos de gestión.** Combinación de la rigurosidad metodológica de PMBOK con la flexibilidad de enfoques ágiles y la eficiencia de Lean Construction.
4. **Cultura organizacional de calidad.** Fomento de una visión institucional que premie la mejora continua, la innovación y la responsabilidad en el uso de recursos.
5. **Gestión del cambio.** Desarrollo de estrategias de comunicación, capacitación y liderazgo que faciliten la adopción de nuevas tecnologías y metodologías.
6. **Sostenibilidad transversal.** Incorporación de evaluaciones de ciclo de vida, criterios de eficiencia energética y prácticas de economía circular en todas las fases de los proyectos.

## 2.12 Recomendaciones operativas

- Establecer líneas base de costos, plazos y calidad antes de la licitación para asegurar un control efectivo.
- Diseñar jerarquías de KPIs diferenciando niveles estratégicos, tácticos y operativos, con responsables asignados para cada uno.
- Implementar el Last Planner System desde fases tempranas, midiendo el **Percent Plan Complete (PPC)** como indicador de confiabilidad.
- Aplicar sistemáticamente EVM, estableciendo umbrales de alerta para los índices CPI y SPI.
- Incorporar auditorías de calidad en hitos clave, con validación externa cuando corresponda.
- Considerar los costos de ciclo de vida en contratos de operación y mantenimiento, garantizando sostenibilidad a largo plazo.
- Institucionalizar repositorios de lecciones aprendidas y procesos de retroalimentación entre organismos públicos.

### Checklist de recomendaciones.

Recomendación	Responsable	Indicador de cumplimiento
Establecer línea base	Equipo planificación	Documentación oficial
Diseñar KPIs jerárquicos	Gerencia de proyectos	Tablero validado
Implementar Last Planner	Coordinador de obra	PPC $\geq$ 85%
Aplicar EVM	Unidad financiera	CPI y SPI dentro de umbral

## 2.13 Conclusiones

La ingeniería industrial, aplicada a la gestión pública, constituye un componente estructural en la construcción de legitimidad estatal y en la eficiencia de las políticas públicas. La integración de marcos metodológicos como PMBOK, enfoques Ágiles y Lean/Lean Construction proporciona un andamiaje robusto para el diseño y la ejecución de proyectos de alta complejidad. A su vez, los sistemas de aseguramiento de calidad como ISO 9001 y Six Sigma, junto con el uso estratégico de KPIs, permiten controlar costos, garantizar plazos y elevar la calidad de los resultados.

El fortalecimiento de las capacidades estatales a través de tecnologías emergentes, asociaciones público-privadas y modelos híbridos de gestión genera condiciones para una gobernanza más ágil y transparente. Finalmente, el monitoreo continuo, las auditorías integrales y la retroalimentación

ciudadana consolidan un proceso de mejora permanente, orientado a maximizar el valor social de las inversiones públicas. De este modo, los proyectos e infraestructuras no solo cumplen sus objetivos técnicos, sino que se convierten en vehículos de equidad, sostenibilidad y confianza en la acción pública.

# Capítulo 3: Innovación y Mejora Continua en el Sector Público

## 3.1 Introducción

La **innovación** y la **mejora continua** son fundamentales para el éxito y la modernización del sector público. En un contexto en el que las expectativas de los ciudadanos son cada vez mayores, los gobiernos deben adaptarse a los nuevos desafíos tecnológicos, sociales y económicos. Esto requiere no solo la implementación de nuevas tecnologías, sino también la mejora constante de los procesos y servicios que afectan directamente la vida de las personas.

En Chile, la innovación en el sector público ha tomado impulso con iniciativas digitales y estrategias de modernización administrativa. Sin embargo, a pesar de los avances, la mejora continua y la innovación siguen siendo un desafío constante, debido a factores como la burocracia, los presupuestos limitados y las resistencias al cambio.

Este capítulo se centra en cómo los **ingenieros industriales** pueden ser agentes de cambio en el sector público, aplicando principios de **mejora continua**, **gestión de la innovación** y **optimización de procesos** para mejorar la eficiencia en las instituciones públicas.



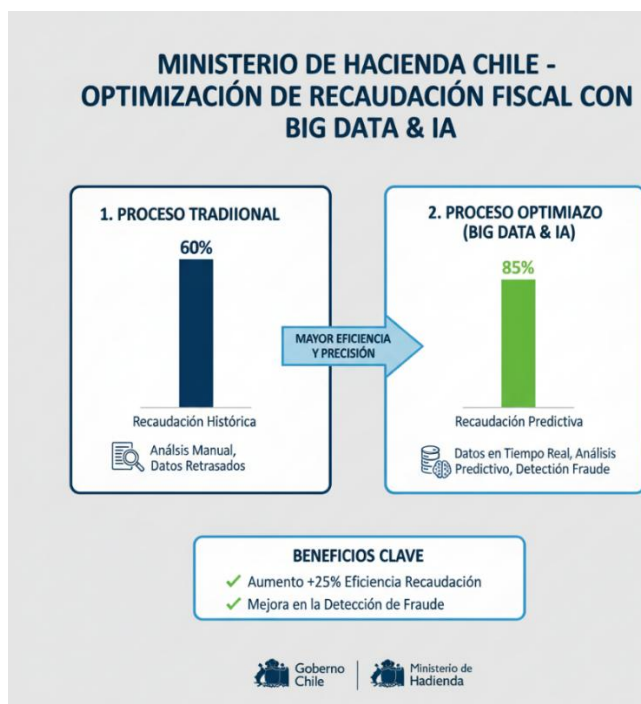
### 3.2 Innovación en el Sector Público: Impulso hacia el Futuro

#### La Innovación como Pilar Fundamental

La **innovación** en el sector público es un proceso que involucra la adopción de nuevas ideas, tecnologías, métodos y enfoques para mejorar la prestación de servicios. En lugar de simplemente hacer lo mismo de manera más eficiente, la innovación implica transformar la manera en que se entregan los servicios, aprovechando las oportunidades tecnológicas y los cambios en la sociedad para crear un valor agregado para los ciudadanos.

#### Áreas de Innovación en el Sector Público:

1. **Digitalización de Servicios:** El uso de plataformas digitales para facilitar la interacción de los ciudadanos con el gobierno, como el acceso a servicios en línea (por ejemplo, **Chile Atiende**).
2. **Uso de Tecnologías Emergentes:** El uso de tecnologías como **big data**, **inteligencia artificial (IA)** y **blockchain** para mejorar la toma de decisiones, la transparencia y la eficiencia.
3. **Modernización de la Gestión Pública:** Innovación en los procesos administrativos y en la gestión de recursos humanos, financieros y materiales del sector público.
4. **Servicios Públicos Inteligentes:** El desarrollo de servicios públicos que respondan de manera dinámica a las necesidades de los ciudadanos, como el **smart city** en Santiago, con infraestructura tecnológica para el monitoreo del tráfico, el consumo de energía y la calidad del aire.



### 3.3 Mejora Continua en el Sector Público

La **mejora continua** se refiere a la práctica de hacer pequeños ajustes y mejoras de manera sistemática en todos los procesos y servicios, con el objetivo de incrementar la eficiencia, la calidad y la satisfacción de los ciudadanos. Este enfoque, inspirado en modelos como **Kaizen** o el ciclo **PDCA (Plan-Do-Check-Act)**, es esencial para mantener la competitividad y la relevancia de los servicios públicos.

#### El Ciclo PDCA para la Mejora Continua

1. **Planificar (Plan):** Identificar áreas de mejora en los procesos del sector público y establecer objetivos claros.
2. **Hacer (Do):** Implementar cambios en los procesos, aplicar nuevas tecnologías o enfoques y poner en marcha iniciativas.
3. **Verificar (Check):** Evaluar el impacto de los cambios y recopilar datos para evaluar si los objetivos se han alcanzado.
4. **Actuar (Act):** Establecer acciones correctivas si es necesario, o extender las mejoras a otros procesos para optimizar el rendimiento.



### **Ejemplo de Aplicación en el Sector Público:**

El **Sistema de Administración Financiera del Estado (SAF)** en Chile implementa el ciclo **PDCA** para evaluar continuamente la eficiencia en el uso de los fondos públicos y mejorar la planificación presupuestaria. Esto garantiza que los recursos sean distribuidos de manera eficiente y equitativa.

### **3.4 Herramientas y Estrategias para la Innovación y Mejora Continua**

#### **1. Gestión de la Innovación en el Sector Público**

Los **ingenieros industriales** pueden desempeñar un papel crucial en la gestión de la innovación dentro del sector público. Esto incluye la identificación de nuevas tecnologías y métodos que puedan mejorar la eficiencia de los procesos administrativos, la creación de proyectos piloto para probar nuevas soluciones y la implementación de mejoras a gran escala.

#### **Herramientas Clave para Gestionar la Innovación:**

- **Mapas de Innovación:** Identificación de áreas clave donde la innovación puede tener un impacto significativo (por ejemplo, digitalización de procesos, mejora en la atención al ciudadano).
- **Gestión del Cambio:** El proceso de gestionar la transición hacia nuevas tecnologías y enfoques de trabajo, asegurando que todos los empleados y partes interesadas estén comprometidos y capacitados.
- **Laboratorios de Innovación Pública:** Espacios dentro del sector público donde se pueden experimentar y probar nuevas ideas antes de implementarlas en gran escala.

**Ejemplo:** El Laboratorio de Innovación Pública del Gobierno de Chile trabaja en el desarrollo de nuevas soluciones tecnológicas para mejorar la eficiencia de la administración pública y ofrecer mejores servicios a los ciudadanos.

#### **2. Gestión de Proyectos y Metodologías Ágiles**

La gestión de proyectos es fundamental para implementar soluciones innovadoras y garantizar la mejora continua. Las **metodologías ágiles**, como **Scrum** y **Kanban**, permiten una gestión flexible y eficiente de los proyectos en el sector público, adaptándose rápidamente a cambios y mejorando la comunicación entre los equipos.

#### **Beneficios de las Metodologías Ágiles:**

- **Mayor Flexibilidad:** Permite adaptarse rápidamente a las necesidades cambiantes del sector público.
- **Mejora en la Colaboración:** Fomenta la colaboración entre equipos multidisciplinarios para encontrar soluciones más efectivas.
- **Reducción de Riesgos:** Al realizar entregas frecuentes e iterativas, se identifican los problemas más rápido, reduciendo el riesgo de fallos en el proyecto.

**Ejemplo práctico:** La implementación de metodologías ágiles en la Plataforma Chile Atiende ha permitido mejorar la interacción con los ciudadanos, haciendo ajustes rápidos para mejorar la experiencia del usuario.

### 3.5 Casos de Estudio de Innovación y Mejora Continua en el Sector Público Chileno

#### Caso 1: Innovación en el Registro Civil

El **Servicio de Registro Civil e Identificación de Chile** ha implementado una serie de innovaciones tecnológicas, como el **sistema de citas en línea** y la **automatización de la entrega de documentos**, lo que ha permitido reducir significativamente los tiempos de espera y mejorar la eficiencia operativa. Esta innovación ha sido acompañada de una mejora continua, con la evaluación constante del rendimiento del sistema y ajustes regulares para garantizar su efectividad.

#### Caso 2: Mejora Continua en el Sistema de Salud Pública

El **Ministerio de Salud** ha adoptado una **estrategia de mejora continua** en la gestión de los insumos médicos a través de un sistema automatizado de gestión de inventarios. Esto ha permitido una mejor planificación en la distribución de medicamentos y equipos, reduciendo los tiempos de espera y mejorando la disponibilidad de recursos en los hospitales públicos.

#### Caso 3: Modernización del Transporte Público en Santiago

El **Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones** ha implementado mejoras continuas en el sistema de transporte público mediante el uso de **tecnologías inteligentes** para optimizar las rutas de los buses, el monitoreo en tiempo real y la mejora de la infraestructura. Estas innovaciones, combinadas con el análisis de datos de tráfico, han permitido una mejora significativa en la eficiencia y la calidad del servicio de transporte en la capital.

### 3.6 Conclusión

La **innovación** y la **mejora continua** son esenciales para transformar el sector público en un sistema más eficiente, transparente y responsable. Los ingenieros industriales tienen un papel fundamental en la implementación de nuevas tecnologías, la mejora de los procesos y la gestión de proyectos innovadores. A través de estas estrategias, el sector público puede mejorar la calidad de los servicios ofrecidos a los ciudadanos y afrontar los desafíos sociales, económicos y ambientales de manera más efectiva.

El compromiso con la mejora continua y la adopción de soluciones innovadoras en el sector público no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también contribuye al desarrollo social y económico del país, promoviendo una mayor equidad y bienestar para todos.

### 3.7 El Rol de los Ingenieros Industriales en la Innovación y Mejora Continua

#### El Ingeniero Industrial como Agente de Cambio

Los **ingenieros industriales** tienen un rol esencial en la **gestión de la innovación** y en la implementación de **estrategias de mejora continua** en el sector público. Su capacidad para optimizar procesos, gestionar proyectos complejos y analizar datos les permite identificar áreas de

mejora, desarrollar soluciones tecnológicas y asegurarse de que los recursos se utilicen de manera más eficiente.

### **Cómo los Ingenieros Industriales Impulsan la Innovación:**

1. **Gestión de Proyectos de Innovación:** Los ingenieros industriales aplican metodologías ágiles y de gestión de proyectos para introducir innovaciones tecnológicas en el sector público, asegurándose de que los proyectos se entreguen a tiempo, dentro del presupuesto y con los resultados esperados.
2. **Optimización de Procesos:** A través del uso de herramientas como **Lean** y **Six Sigma**, los ingenieros industriales mejoran los procesos administrativos y operativos del sector público, eliminando desperdicios y aumentando la eficiencia.
3. **Análisis de Datos y Toma de Decisiones:** Utilizando tecnologías de **Big Data** y **análisis predictivo**, los ingenieros industriales pueden hacer predicciones informadas y tomar decisiones basadas en datos para mejorar la calidad de los servicios públicos.
4. **Fomento de la Cultura de Innovación:** Los ingenieros industriales también pueden liderar iniciativas que promuevan una **cultura organizacional** de innovación dentro de las instituciones públicas, alentando a otros a adoptar enfoques creativos para resolver problemas.

**Ejemplo práctico:** En el **Ministerio de Obras Públicas de Chile**, los ingenieros industriales han liderado la modernización de la infraestructura mediante el uso de **tecnologías de construcción sostenible**, garantizando que los proyectos de infraestructura sean más eficientes y respetuosos con el medio ambiente.

### **3.8 Desafíos y Oportunidades para la Innovación en el Sector Público**

Aunque la innovación y la mejora continua son esenciales para la modernización del sector público, existen varios desafíos que deben superarse para lograr una implementación efectiva. Estos incluyen:

#### **Desafíos:**

1. **Resistencia al Cambio:** Los funcionarios públicos y la ciudadanía pueden ser reacios a adoptar nuevas tecnologías o métodos de trabajo debido a la falta de familiaridad o miedo al fracaso.
2. **Limitaciones Presupuestarias:** El sector público suele tener presupuestos más restrictivos que el sector privado, lo que puede dificultar la implementación de soluciones innovadoras que requieran inversión inicial.
3. **Burocracia:** Los procesos administrativos en el sector público suelen ser lentos y burocráticos, lo que puede frenar la adopción de nuevas ideas y la implementación de proyectos innovadores.

4. **Falta de Capacitación:** La falta de formación continua en nuevas tecnologías y procesos de mejora continua puede ser una barrera importante para la innovación en el sector público.

#### **Oportunidades:**

1. **Transformación Digital:** La adopción de **tecnologías digitales**, como la automatización, el uso de plataformas de gobierno electrónico y la inteligencia artificial, ofrece grandes oportunidades para mejorar la eficiencia y la accesibilidad de los servicios públicos.
2. **Colaboración Público-Privada:** Las asociaciones entre el sector público y las empresas privadas pueden facilitar la adopción de soluciones innovadoras, como las **smart cities**, y mejorar la infraestructura tecnológica.
3. **Políticas de Innovación:** Los gobiernos están comenzando a implementar políticas públicas que fomentan la innovación dentro de las instituciones públicas, creando un ambiente más favorable para el cambio y la modernización.
4. **Educación y Capacitación:** Los programas de **capacitación continua** en nuevas tecnologías, gestión de proyectos y metodologías ágiles son fundamentales para asegurar que los funcionarios públicos y los ingenieros industriales estén equipados para liderar la innovación.

### **3.9 Casos de Estudio de Innovación y Mejora Continua en el Sector Público Chileno**

#### **Caso 1: Innovación en el Sistema de Salud Pública**

El **Ministerio de Salud de Chile** ha implementado un sistema de **telemedicina** que permite a los ciudadanos acceder a consultas médicas sin la necesidad de desplazarse a un centro de salud. Este avance no solo mejora la accesibilidad a la atención médica, sino que también optimiza el uso de los recursos médicos, reduciendo los tiempos de espera y mejorando la eficiencia del sistema de salud.

#### **Caso 2: Optimización en la Gestión de Residuos Urbanos**

En la **Municipalidad de Santiago**, se implementaron **sensores inteligentes** en los puntos de recolección de residuos, lo que ha permitido monitorear en tiempo real los niveles de llenado de los contenedores. Esta innovación ha mejorado la eficiencia en las rutas de recolección, reduciendo costos operativos y mejorando la sostenibilidad del sistema de gestión de residuos urbanos.

#### **Caso 3: Plataforma de Gobierno Digital Chile Atiende**

La **Plataforma Chile Atiende** es un excelente ejemplo de la digitalización de servicios públicos en Chile. A través de esta plataforma, los ciudadanos pueden acceder a diversos servicios en línea, como la obtención de permisos, el registro de trámites y el acceso a beneficios sociales. La implementación de esta plataforma ha sido un avance clave en la mejora de la eficiencia y la accesibilidad de los servicios públicos.

### **3.10 Conclusión**

La **innovación** y la **mejora continua** son esenciales para el progreso del sector público, permitiendo a los gobiernos ofrecer servicios más eficientes, accesibles y de mejor calidad a los ciudadanos. Los ingenieros industriales tienen un papel clave en este proceso, actuando como catalizadores del cambio y liderando proyectos de mejora en todos los niveles de la administración pública.

Aunque existen desafíos, las oportunidades para transformar el sector público mediante la innovación son vastas. Con el uso de nuevas tecnologías, metodologías ágiles y un enfoque continuo en la mejora, el sector público chileno puede avanzar hacia una administración más moderna, sostenible y eficaz, mejorando la calidad de vida de sus ciudadanos.

# Capítulo 4: Tecnologías Disruptivas e Infraestructura Digital

## 4.1 Introducción

La transformación digital constituye un proceso paradigmático de alcance global que ha permeado con particular intensidad al sector público y, de manera específica, a la planificación, ejecución y gestión de las infraestructuras críticas. En el contexto chileno, la digitalización de procesos estatales y de proyectos de obra pública se ha consolidado como un vector estratégico fundamental para optimizar la eficiencia institucional, racionalizar el gasto, incrementar los niveles de transparencia y elevar de manera tangible la calidad de los servicios provistos a la ciudadanía.

El presente capítulo integra y sistematiza un conjunto amplio de perspectivas y experiencias, con el objetivo de ofrecer una visión holística, coherente y de nivel doctoral sobre el papel de las tecnologías disruptivas en la gestión pública contemporánea. Se abordan tecnologías clave — Inteligencia Artificial (IA), Internet de las Cosas (IoT), Big Data, Blockchain, Building Information Modeling (BIM), drones y automatización—, se presentan sus aplicaciones prácticas en el caso chileno, se establecen indicadores para evaluar su impacto y se formulan estrategias para su adopción e integración en las instituciones públicas. El análisis combina evidencia empírica, formulación teórica y discusión crítica para proporcionar un marco comprehensivo que sirva tanto de referencia académica como de guía de políticas.

## 4.2 Panorama de Tecnologías Disruptivas

### 4.2.1 Ejes tecnológicos fundamentales

- **Inteligencia Artificial (IA):** herramientas de modelado predictivo, optimización de procesos decisionales, reconocimiento de patrones en datos masivos y desarrollo de sistemas de interacción conversacional de alta sofisticación.
- **Internet de las Cosas (IoT):** despliegue de redes sensoriales interconectadas que permiten la telemetría y el monitoreo en tiempo real de infraestructuras críticas, generando flujos de datos continuos para su análisis.
- **Big Data y Analítica Avanzada:** explotación de volúmenes masivos de datos mediante técnicas estadísticas, algoritmos de aprendizaje automático y modelos predictivos que permiten diagnóstico de tendencias, predicción de escenarios y formulación de políticas públicas basadas en evidencia.
- **Automatización y Robotic Process Automation (RPA):** digitalización integral de procesos administrativos, simplificación de trámites rutinarios y generación de flujos de trabajo automatizados que incrementan la productividad del sector público.

- **Building Information Modeling (BIM):** modelado digital colaborativo de infraestructuras en dimensiones 3D, 4D y 5D, extendido a fases de operación y mantenimiento (6D), con el fin de garantizar una gestión integral de activos durante todo el ciclo de vida de los proyectos.
- **Drones y fotogrametría:** tecnologías aéreas que permiten levantamientos topográficos precisos, inspección periódica de obras, monitoreo ambiental y evaluación de riesgos en entornos complejos.
- **Blockchain:** infraestructuras de registro distribuido que aseguran trazabilidad, transparencia e integridad en transacciones, licitaciones y contratos públicos, contribuyendo a la mitigación de riesgos de corrupción.

#### 4.2.2 Efectos transversales

El impacto de estas tecnologías no se limita a una dimensión operativa, sino que se manifiesta en múltiples planos: reducción significativa de tiempos y costos, incrementos en eficiencia y calidad de servicio, reforzamiento de la confianza pública mediante mayor transparencia institucional, y fomento de modelos de sostenibilidad que integran objetivos ambientales, económicos y sociales.

#### 4.3 Ámbitos de Aplicación en el Sector Público



#### **4.3.1 Inteligencia Artificial**

La IA se erige como un pilar central para la analítica predictiva, la automatización de trámites, el reconocimiento de patrones de fraude y el despliegue de interfaces conversacionales multicanal. Ejemplos relevantes incluyen los modelos de riesgo fiscal implementados por el Servicio de Impuestos Internos y la utilización de chatbots en la plataforma ChileAtiende, que permiten atender a millones de ciudadanos de manera más ágil y eficiente.

#### **4.3.2 Internet de las Cosas**

La sensorización masiva habilita la construcción de ecosistemas de ciudad inteligente, el monitoreo continuo de infraestructura crítica y la gestión eficiente de consumos de agua, electricidad y gas. En Santiago, destaca la instalación de sensores para el control de la contaminación atmosférica y la gestión energética en espacios públicos, lo cual ilustra el potencial de IoT para la sostenibilidad urbana.

#### **4.3.3 Big Data**

El análisis de datos masivos facilita la planificación urbana, el diseño de políticas redistributivas más equitativas y el seguimiento riguroso de políticas sociales en educación, salud y desarrollo económico. El Ministerio de Desarrollo Social ha utilizado Big Data para mapear patrones de pobreza multidimensional, diseñando intervenciones más focalizadas.

#### **4.3.4 Automatización de Procesos**

La robotización administrativa simplifica trámites complejos, optimiza funciones de back-office y fortalece los canales de atención ciudadana. La implementación de RPA ha permitido que oficinas públicas automaticen procesos de registro civil, presupuestación y gestión de recursos humanos.

#### **4.3.5 Building Information Modeling (BIM)**

BIM ha demostrado su capacidad para articular equipos multidisciplinarios, detectar interferencias de diseño en etapas tempranas y coordinar fases de construcción y operación. En proyectos de infraestructura sanitaria y de transporte, BIM ha reducido costos y acertado plazos de ejecución.

#### **4.3.6 Drones y Fotogrametría**

El uso de drones para levantamientos topográficos, monitoreo del avance de proyectos y fiscalización en entornos de difícil acceso permite acelerar la toma de decisiones y reducir costos de supervisión. En la Línea 7 del Metro de Santiago, los drones han jugado un rol esencial en la planificación y seguimiento.

#### **4.3.7 Blockchain**

El uso de blockchain fortalece la trazabilidad contractual, asegura registros inmutables de transacciones y posibilita auditorías en tiempo real de flujos financieros y operativos, mitigando riesgos de corrupción y aumentando la confianza de la ciudadanía en la gestión pública.

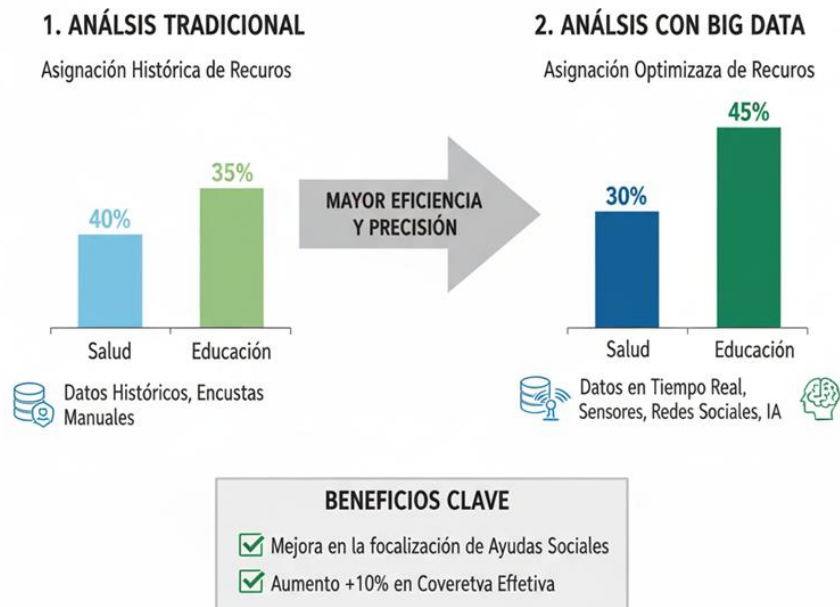
#### 4.4 Casos de Estudio en Chile

- **ChileAtiende:** plataforma que centraliza múltiples servicios digitales en línea, con impacto directo en accesibilidad y reducción de tiempos de espera.
- **Gestión de tráfico urbano en Santiago/Providencia:** sistemas de sensores IoT y analítica avanzada permiten optimizar movilidad, consumo energético y calidad del aire.
- **Servicio de Impuestos Internos (SII):** digitalización integral de procesos de recaudación fiscal con modelos predictivos de cumplimiento tributario.
- **Metro de Santiago:** integración de Big Data y BIM para programar servicios, mejorar mantenimiento preventivo y reducir tiempos de inactividad.
- **Hospitales públicos:** aplicación de BIM en fases de diseño y construcción, junto con IoT para gestionar inventarios de insumos y optimizar uso de energía.
- **Aeropuerto Arturo Merino Benítez:** despliegue de sensores IoT para monitoreo en tiempo real de equipos críticos, habilitando un esquema de mantenimiento predictivo.

Estos casos ilustran no solo la viabilidad tecnológica, sino también la capacidad del Estado chileno de articular ecosistemas digitales complejos.



#### MINISTERIO DE DESAROLLO SOCIAL CHILE - BIG DATA PARA LA ASIGNACIÓN DE RECURSOS



## 4.5 Evaluación e Indicadores de Impacto

Este apartado tiene como objetivo proporcionar un marco analítico integral para medir los efectos de la digitalización y la adopción de tecnologías disruptivas en el sector público. Cada indicador busca capturar una dimensión específica —eficiencia, experiencia ciudadana, transparencia, sostenibilidad financiera e impacto social— permitiendo evaluar si las inversiones en tecnología generan beneficios reales y sostenibles. A continuación, se explican los indicadores clave junto con sus fórmulas y su relevancia práctica.

### 4.5.1 Eficiencia Operativa

Evalúa la rapidez y capacidad del sector público para procesar trámites y ejecutar procesos internos después de la digitalización. Su importancia radica en que un menor tiempo de procesamiento y una mayor proporción de procesos automatizados se traducen en servicios más ágiles, menos costosos y con menores posibilidades de error humano.

- **Reducción del tiempo de procesamiento (RTP):** mide el porcentaje de disminución del tiempo promedio de un trámite tras la implementación tecnológica.

Fórmula:

$$RTP(\%) = \frac{T_{antes} - T_{después}}{T_{antes}} \times 100.$$

- **Tasa de digitalización de servicios (TDS):** identifica el grado de migración de trámites a entornos digitales, reflejando el compromiso del Estado con la modernización.

Fórmula:

$$TDS(\%) = \frac{\text{Servicios digitalizados}}{\text{Servicios totales}} \times 100.$$

- **Nivel de automatización (NA):** refleja la proporción de procesos internos que se ejecutan sin intervención humana, indicador clave de productividad.

Fórmula:

$$NA(\%) = \frac{\text{Procesos automatizados}}{\text{Procesos totales}} \times 100.$$

### 4.5.2 Experiencia del Usuario

Se centra en la percepción ciudadana y en el grado de adopción de las plataformas digitales. Este eje es crucial porque un sistema técnicamente eficiente pierde legitimidad si no es valorado positivamente por los usuarios.

- **Índice de satisfacción (CSAT/NPS):** mide la calidad percibida del servicio a partir de encuestas de satisfacción y disposición a recomendar.

$$\text{Fórmulas: } CSAT(\%) = \frac{\text{Respuestas positivas}}{\text{Total respuestas}} \times 100 \text{ y } NPS = \%Promotores - \%Detractores.$$

- **Tasa de retención y uso recurrente:** evalúa la fidelización de los ciudadanos con los servicios digitales. Un alto valor indica utilidad práctica y facilidad de uso.

$$\text{Fórmula: } Retención(\%) = \frac{\text{Usuarios activos periodo } t}{\text{Usuarios activos periodo } t-1} \times 100.$$

#### 4.5.3 Transparencia y Acceso

Analiza la capacidad del sistema digital para ser auditable y equitativo. Esto permite valorar si la digitalización contribuye a reducir la corrupción y a democratizar el acceso a los servicios.

- **Servicios trazables:** mide qué proporción de trámites puede auditarse electrónicamente, lo que fortalece la rendición de cuentas.

$$\text{Fórmula: } Trazabilidad(\%) = \frac{\text{Servicios con trazabilidad}}{\text{Servicios totales}} \times 100.$$

- **Accesibilidad digital:** evalúa la cobertura y equidad en el acceso por región o segmento social. Permite detectar brechas digitales territoriales o socioeconómicas.

$$\text{Fórmula: } Acceso regional(\%) = \frac{\text{Usuarios digitales region}}{\text{Población region}} \times 100.$$

#### 4.5.4 Métricas Financieras

Permiten medir la sostenibilidad económica y el valor de la inversión en digitalización. Su análisis es esencial para justificar presupuestos públicos y evaluar el retorno de las inversiones tecnológicas.

- **Retorno de inversión (ROI):** evalúa la rentabilidad de los proyectos digitales.

$$\text{Fórmula: } ROI(\%) = \frac{\text{Beneficios netos}}{\text{Costos totales}} \times 100.$$

- **Valor presente neto (VPN/NPV):** estima el valor financiero actualizado de los beneficios netos, ajustado por la tasa de descuento.

$$\text{Fórmula: } VPN = \sum_{t=0}^T \frac{\text{Flujos netos}_t}{(1+r)^t}.$$

- **Costo total de propiedad (TCO):** cuantifica todos los costos asociados al ciclo de vida de una solución digital, permitiendo prever gastos de largo plazo.

$$\text{Fórmula: } TCO = \text{Costos iniciales} + \text{Costos operativos} + \text{Costos mantenimiento}.$$

#### 4.5.5 Impacto Social

Examina los efectos de la digitalización sobre inclusión, equidad y calidad de vida. Más allá de lo económico, estos indicadores miden si la digitalización cumple un rol social positivo.

- **Nivel de inclusión digital:** mide qué proporción de la población accede y utiliza efectivamente servicios digitales, reflejando el grado de universalización.

$$\text{Fórmula: } Inclusión(\%) = \frac{\text{Usuarios digitales}}{\text{Población total}} \times 100.$$

- **Indicadores de calidad de vida:** reflejan mejoras en tiempos de espera, cobertura territorial y acceso oportuno.

$$\text{Fórmula de ejemplo: } Mejora\ tiempo(\%) = \frac{T_{antes} - T_{después}}{T_{antes}} \times 100.$$

#### 4.6 Tecnologías en la Gestión de Proyectos de Infraestructura

En este apartado se profundiza en el papel de cada tecnología disruptiva en la gestión de proyectos de infraestructura pública. No se trata únicamente de herramientas operativas, sino de verdaderos catalizadores de transformación que reconfiguran la forma en que se planifican, ejecutan y supervisan los proyectos.

- **BIM (3D–6D):** más allá de un simple modelo tridimensional, BIM constituye un ecosistema digital que integra dimensiones temporales (4D), de costos (5D) y de mantenimiento y sostenibilidad (6D). Permite simular escenarios de construcción, evaluar el impacto de cambios en tiempo real y optimizar la coordinación entre arquitectos, ingenieros y gestores. En la práctica, reduce errores de diseño, evita sobrecostos y facilita la trazabilidad de cada decisión durante el ciclo de vida de la infraestructura.
- **IA y analítica predictiva:** la inteligencia artificial en proyectos de infraestructura permite anticipar riesgos, identificar patrones en datos históricos y generar proyecciones de costos y plazos con alta precisión. A través de algoritmos de machine learning se pueden detectar posibles retrasos, prever fallas de equipamiento y sugerir estrategias de mitigación. Esto incrementa la capacidad del Estado para planificar con base en evidencia y asignar recursos de manera eficiente.
- **IoT:** la sensorización de maquinarias, estructuras y entornos de obra genera datos en tiempo real sobre vibraciones, temperatura, humedad, consumo de energía y otros parámetros críticos. Estos datos permiten monitorear el estado de equipos, prevenir accidentes, activar mantenimientos preventivos y optimizar la logística de materiales. El IoT convierte el sitio de construcción en un espacio inteligente, interconectado y con una trazabilidad inédita de cada proceso.
- **Drones:** los vehículos aéreos no tripulados se han transformado en herramientas indispensables para la inspección de grandes superficies, la cartografía detallada y el seguimiento visual del progreso de las obras. Gracias a la fotogrametría de alta resolución y al análisis de imágenes, los drones permiten detectar desviaciones en la construcción, controlar la seguridad de trabajadores y evaluar el impacto ambiental sin necesidad de desplazar equipos humanos a zonas de riesgo.
- **RPA y BPM:** la automatización robótica de procesos (RPA) y la gestión de procesos de negocio (BPM) aplicadas a la infraestructura abarcan desde la etapa de licitación hasta la operación. Estas tecnologías permiten automatizar flujos de aprobación, control de presupuestos, generación de reportes y gestión documental. El resultado es una reducción significativa en tiempos administrativos y un aumento en la transparencia de los procesos asociados a los proyectos de obra pública.
- **Blockchain:** en proyectos de infraestructura, blockchain aporta un registro descentralizado e inmutable de cada transacción, contrato o certificación. Esto se traduce en mayor trazabilidad de órdenes de cambio, control transparente de pagos y confianza en la ejecución presupuestaria. La posibilidad de auditar en tiempo real todos los movimientos

financieros y contractuales reduce el riesgo de corrupción y aumenta la legitimidad social de los proyectos.

## 4.7 Ventajas, Desafíos y Estrategias

### 4.7.1 Ventajas

La adopción de tecnologías disruptivas en la gestión de infraestructuras públicas genera beneficios multidimensionales. No solo se traduce en **eficiencia operativa** y en la **reducción de costos y tiempos de ejecución**, sino también en una mejora sustantiva de la **calidad técnica de los proyectos** al permitir simulaciones, controles y evaluaciones en tiempo real. Asimismo, se incrementa la **seguridad laboral y estructural**, ya que tecnologías como IoT y drones facilitan el monitoreo de riesgos. En términos de sostenibilidad, estas innovaciones posibilitan un **uso más eficiente de recursos energéticos y materiales**, alineando la infraestructura con objetivos ambientales. Finalmente, la transparencia en los procesos fortalece la confianza pública y consolida la legitimidad institucional.

### 4.7.2 Desafíos

A pesar de los beneficios, la implementación enfrenta retos significativos. La **resistencia cultural al cambio** dentro de las instituciones puede frenar la adopción de soluciones tecnológicas. Los **altos costos iniciales de inversión** constituyen una barrera especialmente crítica en contextos de presupuestos públicos restringidos. A ello se suman los problemas de **interoperabilidad entre sistemas heterogéneos**, que dificultan la integración de plataformas. La **ciberseguridad y la protección de datos** aparecen como riesgos centrales, ya que la digitalización incrementa la superficie de exposición a ataques y vulneraciones de la privacidad ciudadana. Además, la **escasez de talento especializado** limita la capacidad de las instituciones para gestionar proyectos tecnológicos complejos.

### 4.7.3 Estrategias

Para superar los desafíos, es necesario articular estrategias robustas y graduales. Entre las más relevantes se incluyen:

- Implementación de **proyectos piloto** de alcance limitado para validar beneficios antes de su escalamiento.
- Desarrollo de **alianzas público-privadas (APP)** que compartan riesgos y fomenten la innovación conjunta.
- **Capacitación continua** del capital humano en competencias digitales y de gestión del cambio.
- Establecimiento de **marcos normativos y estándares técnicos** que aseguren interoperabilidad y seguridad.
- Fortalecimiento de la **gobernanza de datos**, con políticas claras de acceso, almacenamiento y uso responsable.

- Promoción de la **innovación abierta**, colaborando con universidades, startups y centros de investigación.

#### 4.8 Hoja de Ruta en Seis Etapas

La implementación exitosa de tecnologías disruptivas requiere de una hoja de ruta estructurada que guíe a las instituciones públicas desde un diagnóstico inicial hasta la consolidación de la mejora continua.

1. **Diagnóstico de madurez digital:** consiste en evaluar el estado actual de las capacidades tecnológicas, identificando fortalezas, debilidades y brechas frente a estándares internacionales.
2. **Priorización de casos de uso:** selección de iniciativas con mayor impacto esperado y factibilidad de ejecución, considerando recursos disponibles y alineación con objetivos estratégicos nacionales.
3. **Diseño de la arquitectura tecnológica objetivo:** definición de un ecosistema digital interoperable, escalable y seguro que sirva de soporte para la transformación.
4. **Implementación de pilotos:** desarrollo de experiencias acotadas que permitan validar resultados, ajustar metodologías y generar aprendizajes antes de expandir.
5. **Escalamiento institucional:** expansión progresiva de las soluciones exitosas, acompañada de planes de gestión del cambio organizacional, actualización de procesos y comunicación efectiva.
6. **Mejora continua:** monitoreo constante de desempeño mediante indicadores, retroalimentación de usuarios y auditorías externas, asegurando la actualización permanente de herramientas y metodologías.

#### 4.9 Fórmulas y Plantillas

Para operacionalizar la medición de impacto se requieren fórmulas que traduzcan fenómenos complejos en métricas comprensibles y comparables. A continuación, se presentan las principales:

- **Ahorro de tiempo por automatización:** permite calcular el beneficio en horas-hombre al digitalizar procesos.

$$\text{Fórmula: } \textit{Ahorro} = (T_{\textit{antes}} - T_{\textit{después}}) \textit{imes} N.$$

- **CapEx evitado por digitalización:** cuantifica inversiones de capital que dejan de ser necesarias al migrar hacia soluciones digitales (por ejemplo, reducción en oficinas físicas o equipos).

Fórmula conceptual:  $CapEx\ evitado = Inversión\ prevista - Inversión\ real\ post\ digitalización.$

- **Productividad de obra:** mide la eficiencia de ejecución de proyectos en relación al esfuerzo humano invertido.

Fórmula:  $Productividad = \frac{Unidades\ ejecutadas}{Horas\ hombre}.$

- **Valor presente neto (VPN/NPV):** evalúa la rentabilidad de un proyecto digital considerando los flujos futuros descontados.

Fórmula:  $VPN = \sum_{t=0}^T \frac{Flujos\ netos_t}{(1+r)^t}.$

- **Tasa de incidentes por usuarios:** permite medir la seguridad y confiabilidad de un servicio digitalizado.

Fórmula:  $Incidencia = \frac{Incidentes}{Usuarios} \times 100.000.$

Estas fórmulas actúan como herramientas prácticas para que los gestores públicos puedan evaluar de manera objetiva la efectividad de la transformación digital.

#### 4.10 Conclusiones

Las tecnologías disruptivas configuran un cambio estructural profundo en la manera en que el Estado concibe, diseña y ejecuta la provisión de servicios y de infraestructuras públicas. La integración sinérgica de IA, IoT, Big Data, Blockchain, BIM, drones y automatización no solo habilita mayor eficiencia operativa, sino que también fortalece la gobernanza institucional, promueve la sostenibilidad y refuerza la legitimidad social de la acción pública.

Para materializar estos beneficios, es indispensable una estrategia sistémica de largo plazo que combine proyectos piloto de alto valor, marcos regulatorios robustos, estándares técnicos internacionales y programas de capacitación permanente. La evaluación mediante indicadores

multidimensionales (operativos, financieros, sociales y ambientales) permitirá validar el retorno de la inversión, garantizar la equidad en el acceso y asegurar que la digitalización contribuya a un modelo de gestión pública eficaz, transparente, sostenible e inclusivo.

#### Apéndice A. Tabla de KPIs Sugeridos

Dimensión	KPI	Fórmula/Descripción
Eficiencia	Reducción de tiempo	$(T_a - T_d)/T_a$
Eficiencia	Tasa de automatización	Tareas automatizadas / Tareas objetivo
Finanzas	ROI	$(Beneficios - Costos)/Costos$
Finanzas	TCO	Comparación antes vs. después
Experiencia	CSAT/NPS	Encuestas pos-trámite
Acceso	MAU	Usuarios activos mensuales
Transparencia	% procesos trazables	Procesos con auditoría digital / total
Sostenibilidad	Energía/m <sup>2</sup>	kWh por superficie

#### Apéndice B. Matriz de Priorización

La matriz de priorización es una herramienta analítica que ayuda a las instituciones a decidir en qué proyectos tecnológicos invertir primero, basándose en un balance entre **impacto esperado** y **esfuerzo requerido** (costo, tiempo, recursos humanos). Su uso permite asignar recursos de forma más estratégica, evitando dispersión y maximizando beneficios iniciales.

- **Eje de impacto:** se refiere al valor generado por la implementación de la tecnología. Puede medirse en ahorro de costos, reducción de tiempos, inclusión social, transparencia o mejora en la calidad de vida. Un proyecto con alto impacto es aquel que transforma significativamente la experiencia ciudadana o genera beneficios tangibles al Estado.
- **Eje de esfuerzo:** abarca la complejidad técnica, el nivel de inversión inicial, la necesidad de cambios organizacionales y el tiempo de implementación. Proyectos de bajo esfuerzo requieren menos recursos y se integran con mayor rapidez a la infraestructura existente.

La matriz se organiza en cuatro cuadrantes:

1. **Alto impacto / Bajo esfuerzo:** proyectos prioritarios que deben implementarse primero como pilotos (ejemplo: chatbots de atención ciudadana o sensores IoT para monitoreo básico).

2. **Alto impacto / Alto esfuerzo:** iniciativas estratégicas que, aunque complejas y costosas, deben planificarse a mediano plazo (ejemplo: adopción nacional de BIM o despliegue de blockchain en contratos públicos).
3. **Bajo impacto / Bajo esfuerzo:** soluciones complementarias que pueden adoptarse si existen recursos disponibles, pero no son críticas (ejemplo: automatización parcial de procesos administrativos simples).
4. **Bajo impacto / Alto esfuerzo:** proyectos que conviene posponer o reevaluar, ya que consumen muchos recursos y generan beneficios limitados.

La aplicación de esta matriz permite construir una **hoja de ruta realista**, donde primero se consolidan victorias tempranas que aumentan la confianza institucional y ciudadana, creando el terreno favorable para iniciativas de mayor envergadura y complejidad.

# Capítulo 5: Sostenibilidad, Ambiente y Economía Circular

## 5.1 Introducción

La sostenibilidad ha dejado de ser un concepto meramente normativo o aspiracional para convertirse en un principio rector que estructura la formulación de políticas públicas y la materialización de proyectos de infraestructura a nivel global y nacional. En un contexto caracterizado por la intensificación de los efectos del cambio climático, la acelerada urbanización y la presión creciente sobre los recursos naturales, los Estados desempeñan un rol insustituible como garantes de la transición hacia un modelo de desarrollo que conjugue equidad social, eficiencia económica y protección ambiental. En el caso de Chile, estos desafíos se manifiestan en problemáticas críticas como la gestión integral de residuos sólidos urbanos e industriales, la eficiencia hídrica y energética, la conservación de ecosistemas frágiles y la construcción de resiliencia frente a eventos climáticos extremos que han adquirido mayor recurrencia e intensidad en las últimas décadas.

En este escenario, la ingeniería industrial se erige como un vector estratégico, aportando metodologías avanzadas de optimización de recursos, diseño de procesos resilientes y sistemas de mejora continua, capaces de integrar simultáneamente los principios de sostenibilidad, ambiente y economía circular en la planificación, ejecución y evaluación de infraestructuras y servicios públicos. Esta convergencia disciplinaria contribuye a diseñar mecanismos de gobernanza innovadores, orientados a asegurar que las decisiones públicas se alineen con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y los compromisos internacionales de reducción de emisiones y protección ambiental.



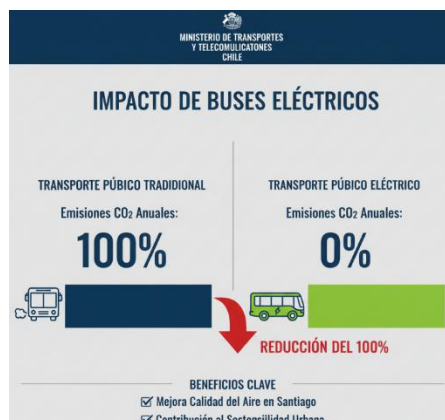
## 5.2 Retos y Oportunidades de la Sostenibilidad en el Sector Público

### Retos Estructurales

1. **Cambio Climático y Riesgos Sistémicos:** La recurrencia de sequías prolongadas, incendios forestales de magnitud creciente y precipitaciones extremas exige la consolidación de arquitecturas institucionales resilientes, políticas públicas adaptativas y sistemas de gestión del riesgo basados en evidencia científica.
2. **Gestión de Residuos Sólidos:** La insuficiencia de sistemas de valorización y reciclaje a escala nacional continúa generando externalidades negativas de gran magnitud, con impactos en la salud pública, el uso del suelo y la contaminación de ecosistemas.
3. **Eficiencia en el Uso de Recursos Naturales:** A pesar de los avances normativos, persiste una elevada ineficiencia en la gestión del agua, la energía y los materiales, lo cual afecta tanto la sostenibilidad ambiental como la viabilidad económica de las políticas públicas.
4. **Déficit de Cultura Ambiental:** La ausencia de una conciencia ecológica profundamente arraigada en la sociedad y en el sector público limita la efectividad de las estrategias implementadas, dificultando la consolidación de un ethos colectivo orientado a la sostenibilidad.

### Oportunidades Estratégicas

- **Transformación Digital y Tecnológica:** La incorporación de inteligencia artificial, Internet de las Cosas (IoT), sistemas de monitoreo en tiempo real y plataformas digitales puede revolucionar la eficiencia en la gestión de recursos públicos.
- **Energías Renovables:** La integración masiva de energía solar, eólica y geotérmica en proyectos de infraestructura no solo contribuye a la descarbonización de la matriz energética, sino que además genera ahorros operacionales sostenidos en el tiempo.
- **Economía Circular:** La transición hacia modelos circulares permite prolongar el ciclo de vida de los materiales, reducir la generación de residuos y aliviar la presión sobre ecosistemas naturales mediante la reutilización y valorización de recursos.
- **Movilidad Sostenible:** La electrificación del transporte público, la expansión de ciclovías y la implementación de sistemas inteligentes de movilidad constituyen estrategias fundamentales para reducir la huella de carbono de las ciudades y mejorar la calidad de vida urbana.



## 5.3 Principios de Sostenibilidad en Proyectos Públicos de Infraestructura

### Dimensión Ambiental

- Implementación de fuentes de energía renovable en edificaciones públicas, hospitales, escuelas y transporte colectivo.
- Diseño de sistemas integrales de gestión de residuos sólidos y líquidos en la fase de construcción y operación.
- Reducción sustantiva de emisiones contaminantes mediante la adopción de tecnologías limpias e innovaciones ecoeficientes.

### Dimensión Económica

- Aplicación del **Análisis de Ciclo de Vida (ACV)** como herramienta para evaluar la viabilidad económica y ambiental de proyectos en horizontes de largo plazo.
- Optimización de procesos de construcción y operación a través de enfoques como **Lean Construction**, metodologías ágiles y modelos de gestión de costos avanzados.

### Dimensión Social

- Aseguramiento de la accesibilidad universal en todo proyecto de infraestructura, garantizando inclusión y equidad.
- Implementación de mecanismos de consulta, deliberación y participación comunitaria en todas las fases del ciclo de vida del proyecto.
- Disminución de desigualdades en el acceso a servicios públicos mediante infraestructuras que prioricen equidad territorial y social.



## 5.4 Herramientas y Métodos para la Gobernanza Sostenible

1. **Políticas Públicas Verdes:** Consolidación de marcos normativos robustos y coherentes, como la Ley REP, que obliga a los productores a responsabilizarse por el ciclo de vida de sus productos, contribuyendo a la reducción estructural de residuos.
2. **Gestión Energética y Reducción de GEI:** Adopción de estándares internacionales como ISO 50001 e implementación de proyectos de eficiencia energética en edificios públicos y sistemas de transporte.
3. **Economía Circular Aplicada:** Reutilización de materiales de construcción, valorización energética de residuos y adopción de plataformas tecnológicas para el reciclaje inteligente y trazable.
4. **Certificaciones Internacionales:** Obtención de certificaciones como LEED, BREEAM o ISO 14001 para asegurar estándares internacionales de sostenibilidad en edificios y proyectos públicos.
5. **Tecnologías Limpias:** Masificación de transporte eléctrico, instalación de sensores IoT y uso de Big Data para gestión predictiva y monitoreo continuo de impactos ambientales.

## 5.5 Estrategias Avanzadas de Implementación

1. **Planificación Estratégica Sostenible:** Integración de criterios socioambientales y económicos desde la fase de preinversión, considerando la resiliencia climática y la equidad social en los estudios de factibilidad.
2. **Materialidad Responsable:** Selección de materiales de baja huella de carbono, acero reciclado, madera certificada y cadenas de suministro sostenibles, fortaleciendo la trazabilidad en la gestión de recursos.
3. **Monitoreo y Control Dinámico:** Uso de tecnologías de sensorización, auditorías ambientales periódicas y mecanismos de control adaptativo para garantizar que los proyectos cumplan con sus metas de sostenibilidad.
4. **Ciudades Inteligentes y Resilientes:** Desarrollo de sistemas urbanos que integren infraestructura verde, gestión hídrica eficiente, movilidad ecológica y gobernanza participativa para enfrentar los retos del cambio climático.

## 5.6 Estudios de Caso en Chile

- **Hospitales Públicos con Energía Solar:** Implementación de proyectos que reducen emisiones, disminuyen costos operativos y fortalecen la resiliencia energética del sistema de salud.
- **Sistemas de Reciclaje Inteligente en Santiago:** Incorporación de IoT y aplicaciones móviles que aumentan la eficiencia del reciclaje y fomentan la participación ciudadana.

- **Prácticas de Agricultura Sustentable:** Introducción de tecnologías de riego inteligente y sustitución de agroquímicos por alternativas más sostenibles, incrementando eficiencia hídrica.
- **Hospital de Talca:** Incorporación de sistemas de gestión de residuos sólidos, eficiencia energética y materiales sostenibles en su infraestructura.
- **Línea 7 del Metro de Santiago:** Desarrollo de una línea con integración de energías renovables, reducción de residuos y diseño ecoeficiente de estaciones.
- **Parque Metropolitano de Santiago:** Implementación de infraestructura verde, conservación de especies nativas y uso de energías renovables para su operación.



### 5.7 Desafíos Persistentes y Propuestas de Mitigación

- **Altos Costos de Inversión Inicial:** Superación mediante análisis de ciclo de vida, esquemas de financiamiento verde, bonos climáticos y asociaciones público-privadas que distribuyan riesgos y beneficios.
- **Limitaciones Normativas:** Reformulación y actualización constante de marcos regulatorios para alinearlos con estándares internacionales y fomentar la innovación sostenible.

- **Resistencia Cultural e Institucional:** Programas de formación, sensibilización, cambio organizacional y capacitación en nuevas tecnologías.
- **Fragmentación Interinstitucional:** Creación de comités intersectoriales de sostenibilidad y mecanismos de gobernanza colaborativa que integren diversos niveles del Estado y la sociedad civil.

## 5.8 Conclusión

La consolidación de un paradigma de sostenibilidad en el sector público constituye una condición sine qua non para garantizar un desarrollo armónico entre crecimiento económico, equidad social y conservación ambiental. La economía circular, la gestión eficiente de recursos, la incorporación de energías renovables y el uso de tecnologías limpias deben ser concebidas no como opciones marginales, sino como imperativos estratégicos de política pública.

Si bien Chile ha avanzado en la adopción de políticas y prácticas sostenibles, aún persisten desafíos estructurales que demandan innovación constante, financiamiento multiescalar y coordinación interinstitucional efectiva. La ingeniería industrial se presenta como disciplina estratégica para articular sistemas complejos, integrar enfoques interdisciplinarios y diseñar soluciones resilientes que permitan transitar hacia una economía verde, equitativa y competitiva, en plena coherencia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible y los compromisos de la Agenda 2030. Este proceso exige no solo voluntad política, sino también la construcción de capacidades técnicas y sociales capaces de sostener en el tiempo un cambio de paradigma hacia un futuro ambientalmente responsable y socialmente justo.

# Capítulo 6: Logística, Cadena de Suministro y Mantenimiento de Activos

## 6.1 Introducción

La gestión integral de la cadena de suministro (SCM), la logística y el mantenimiento de activos en el sector público constituye un eje estratégico ineludible para garantizar la provisión de bienes y servicios de forma oportuna, eficiente y en consonancia con los estándares de calidad, seguridad y sostenibilidad exigidos. Estos procesos trascienden lo meramente operativo: son determinantes en la continuidad y legitimidad del servicio público, ya que inciden directamente en áreas tan críticas como el abastecimiento de medicamentos esenciales en hospitales, la distribución de insumos educativos y la conservación de infraestructuras estratégicas como carreteras, puentes y sistemas de transporte masivo.

En el contexto chileno, la modernización de estas dimensiones se presenta como una necesidad imperiosa frente a factores estructurales como la rigidez de la burocracia administrativa, la limitación de recursos presupuestarios, la creciente demanda social de transparencia y la necesidad de asegurar sostenibilidad a largo plazo. En este sentido, la articulación entre la logística, la cadena de suministro y el mantenimiento de activos constituye no solo un desafío técnico y organizacional, sino también un reto de gobernanza pública.

Este capítulo examina los marcos conceptuales, los instrumentos de gestión y las herramientas tecnológicas que permiten optimizar la logística, la cadena de suministro y el mantenimiento de activos en el sector público. Se enfatiza la incorporación de tecnologías digitales, la automatización de procesos y la consolidación de sistemas de gestión de calidad basados en evidencia y en análisis de datos masivos. Asimismo, se presentan casos de estudio del contexto chileno para ejemplificar la aplicación práctica de estas estrategias y se formulan recomendaciones para su escalamiento.

## 6.2 Retos y Oportunidades en la Cadena de Suministro Pública

### Retos estructurales

1. **Complejidad regulatoria:** Los procedimientos de adquisición pública están sometidos a estrictos marcos normativos y múltiples instancias de control. Aunque estas normas buscan garantizar la legalidad y la transparencia, con frecuencia ralentizan la ejecución de los procesos logísticos y de aprovisionamiento.
2. **Limitación presupuestaria:** La escasez de recursos financieros obliga a que la gestión pública maximice el valor de cada peso invertido, exigiendo un equilibrio constante entre cobertura, eficiencia y calidad de los servicios.

3. **Heterogeneidad de demandas:** El Estado administra un abanico diverso de necesidades que abarca desde equipamiento hospitalario altamente especializado hasta material de construcción para obras viales. Esta amplitud de demandas complejiza la estandarización de procesos logísticos.
4. **Exigencia de rendición de cuentas:** La ciudadanía y los organismos de control exigen que la gestión sea trazable y transparente, con indicadores claros de desempeño y un uso eficiente de los recursos.

### Oportunidades mediante digitalización

- **Automatización de procesos:** La implementación de herramientas de adquisiciones electrónicas, gestión digital de inventarios y sistemas integrados de seguimiento permite reducir tiempos, costos y riesgos de errores.
- **Planificación avanzada de la demanda:** La incorporación de modelos de Big Data, técnicas de minería de datos y algoritmos de inteligencia artificial posibilita anticipar necesidades futuras, minimizando riesgos de sobrestock o desabastecimiento.
- **Transparencia reforzada:** Plataformas digitales que registran en tiempo real cada transacción generan trazabilidad completa, disminuyen la asimetría de información y reducen los incentivos a prácticas corruptas.

### 6.3 Herramientas y Métodos de Optimización

1. **Gestión de inventarios:** El diseño de políticas de inventario basadas en modelos de revisión continua (Q) y periódica (P) resulta esencial. Dichos modelos deben complementarse con prácticas de recalibración de parámetros de demanda ( $D$ ,  $\sigma D$ ) y tiempos de entrega (LT), considerando restricciones logísticas como cantidades mínimas de pedido o tamaños de lote.
2. **Planificación de la demanda:** La integración de análisis estadístico de tendencias históricas con modelos predictivos que incorporan variables estacionales, fluctuaciones demográficas y coyunturas políticas mejora significativamente la precisión de las proyecciones.
3. **Compras electrónicas:** Plataformas como *ChileCompra* se constituyen en espacios de eficiencia y transparencia, al fomentar la competencia entre proveedores, permitir la comparación de condiciones y consolidar la trazabilidad de las adquisiciones públicas.
4. **Logística y distribución:** La optimización de rutas mediante algoritmos matemáticos, la implementación de almacenes automatizados y la incorporación de tecnologías de rastreo en tiempo real permiten maximizar la cobertura territorial, reducir costos de transporte y garantizar la entrega oportuna de bienes críticos.

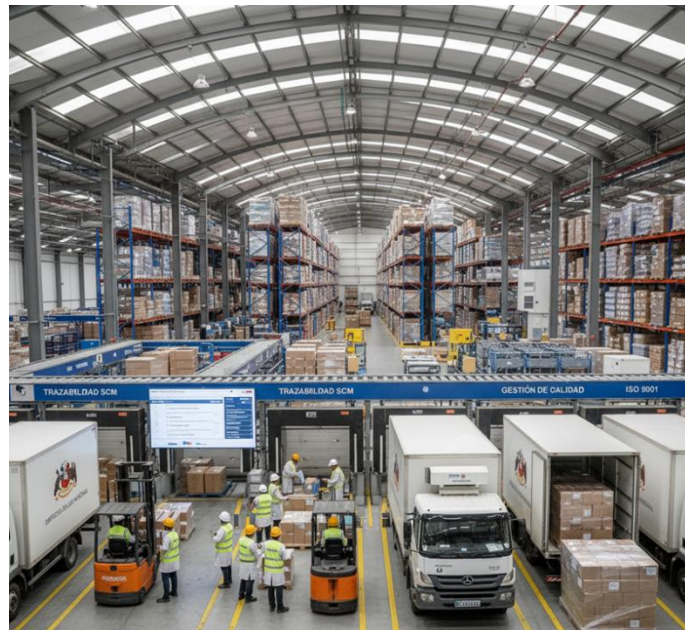
## 6.4 Impacto de la Automatización Logística

La automatización ha transformado radicalmente la gestión logística, desplazando modelos basados en procesos manuales hacia sistemas inteligentes soportados en robótica, vehículos autónomos, drones, inteligencia artificial y software de planificación avanzada.

### Beneficios clave:

1. **Reducción de costos y tiempos:** Procesos de distribución e inventario más ágiles y menos dependientes de la intervención humana.
2. **Optimización en tiempo real:** Seguimiento dinámico de inventarios, rutas y necesidades de reposición.
3. **Transparencia institucional:** Sistemas digitales que documentan cada paso del proceso y facilitan la auditoría.
4. **Reducción de errores humanos:** Disminución de fallos en etiquetado, distribución y control de inventarios.
5. **Satisfacción ciudadana:** Mayor rapidez en la entrega de servicios y reducción de tiempos de espera.
6. **Sostenibilidad ambiental:** Optimización de rutas, menor consumo energético y reducción de desperdicios.
7. **Flexibilidad y escalabilidad:** Capacidad de responder a variaciones bruscas en la demanda y de adaptarse a nuevas necesidades.

**Desafíos asociados:** La resistencia organizacional al cambio, los elevados costos de inversión inicial y la creciente vulnerabilidad a ciberataques y brechas de seguridad de datos.



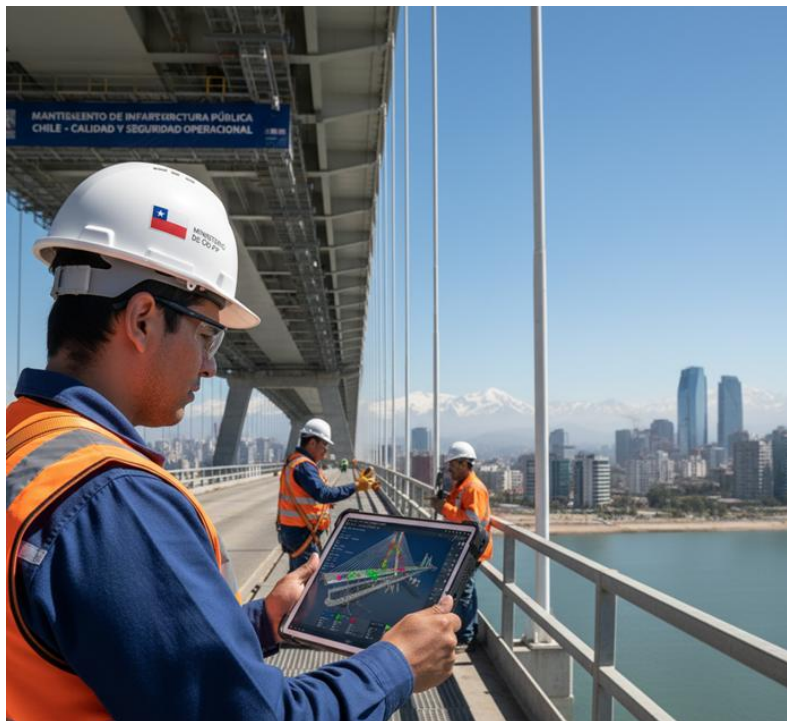
## 6.5 Gestión del Mantenimiento de Activos

El mantenimiento de activos públicos constituye un factor determinante de la seguridad ciudadana, la eficiencia operativa y la prolongación de la vida útil de la infraestructura. La gestión de calidad en el mantenimiento descansa en tres dimensiones:

1. **Mantenimiento preventivo:** Establecimiento de programas de inspección periódica y planificación de intervenciones menores para prevenir fallos mayores. Ejemplo: sistemas de monitoreo preventivo en la Ruta 5 Sur.
2. **Mantenimiento predictivo:** Uso de sensores IoT, algoritmos de IA y análisis de datos masivos para anticipar fallos potenciales antes de su ocurrencia. Ejemplo: sistemas predictivos en el Metro de Santiago.
3. **Gestión integral de la calidad:** Auditorías sistemáticas, indicadores de desempeño verificables y evaluación rigurosa de proveedores orientada a garantizar altos estándares de seguridad y eficiencia.

### Herramientas avanzadas

- **CMMS (Computerized Maintenance Management System):** Sistemas informáticos que centralizan la planificación, ejecución y trazabilidad de tareas de mantenimiento.
- **Monitoreo en tiempo real:** Implementación de sensores y plataformas que registran constantemente la condición de los activos críticos.
- **Analítica de Big Data:** Procesamiento de grandes volúmenes de información para detectar patrones de desgaste, optimizar recursos y proyectar escenarios de intervención.



## 6.6 Casos de Estudio en Chile

- **Ministerio de Salud:** Digitalización de inventarios y automatización en la gestión de medicamentos y dispositivos médicos, logrando mejoras en disponibilidad y reducción de desperdicios.
- **Ministerio de Obras Públicas (MOP):** Aplicación de modelos predictivos para optimizar la cadena de suministro en proyectos de infraestructura, minimizando sobrecostos y retrasos.
- **Chile Atiende:** Implementación de sistemas de automatización en trámites administrativos, reduciendo tiempos de espera y mejorando la experiencia ciudadana.
- **Ruta 5 Sur:** Uso de sensores y monitoreo remoto que permitió reducir en un 20% los costos de mantenimiento y aumentar la seguridad vial.

## 6.7 Beneficios de una Gestión Integral

1. **Extensión de la vida útil** de infraestructuras críticas mediante programas preventivos y predictivos.
2. **Reducción de costos** de operación y mantenimiento a través de tecnologías de optimización.
3. **Mayor seguridad** para usuarios y trabajadores gracias a sistemas de monitoreo permanente.
4. **Sostenibilidad ambiental** a través de prácticas de eficiencia energética y reducción de huella de carbono.
5. **Fortalecimiento institucional** y confianza ciudadana por medio de procesos transparentes y auditables.

## 6.8 Conclusiones y Recomendaciones

La convergencia entre logística, cadena de suministro y mantenimiento de activos, mediada por tecnologías digitales y metodologías de gestión de calidad, constituye un vector fundamental en la transformación del sector público hacia esquemas de gestión más eficientes, transparentes, resilientes y sostenibles.

### Recomendaciones estratégicas

- **Institucionalizar el mantenimiento preventivo** como principio rector frente al correctivo, integrando programas de inspección periódica obligatoria.
- **Invertir en tecnologías emergentes** (IoT, Big Data, IA) que permitan optimizar la gestión de activos críticos y las operaciones logísticas.

- **Implementar sistemas integrados de gestión** (CMMS, SGIM) que consoliden la trazabilidad, la planificación y la medición de resultados.
- **Fortalecer las capacidades humanas** mediante programas de capacitación continua y la promoción de una cultura organizacional orientada a la calidad.
- **Incentivar alianzas público-privadas** para apalancar capacidades tecnológicas, experiencia y recursos adicionales.
- **Asignar financiamiento específico y sostenido** para el mantenimiento dentro de los presupuestos públicos, evitando la priorización exclusiva de nuevas construcciones.

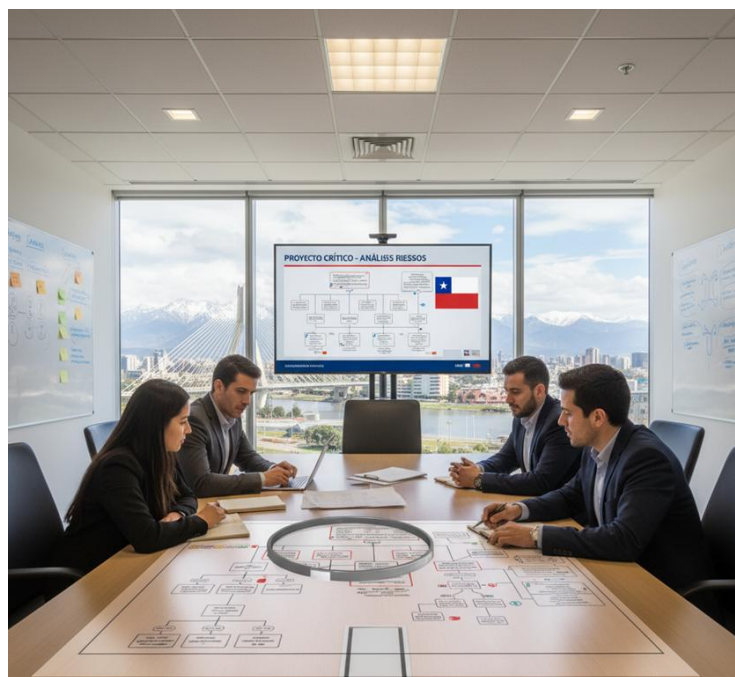
En síntesis, los ingenieros industriales, gestores de proyectos y responsables de políticas públicas desempeñan un papel catalizador en la articulación de estos procesos. Su rol resulta esencial para orientar la gestión pública hacia modelos resilientes, tecnológicamente integrados y socialmente responsables, capaces de responder a los desafíos contemporáneos y de anticipar las necesidades futuras de la ciudadanía.

# Capítulo 7: Riesgo, Seguridad y Resiliencia en Proyectos Públicos de Infraestructura

## 7.1 Introducción

La ejecución de proyectos de infraestructura pública —incluyendo carreteras, hospitales, sistemas de transporte masivo y grandes obras civiles como puentes y aeropuertos— se desarrolla en un marco de elevada complejidad técnica, incertidumbre inherente, y constante escrutinio por parte de la ciudadanía, los organismos de control y las autoridades regulatorias. Estos proyectos suelen implicar inversiones cuantiosas y horizontes temporales prolongados, lo que amplifica los riesgos financieros, técnicos y sociales, a la vez que demanda estructuras sólidas de gobernanza y mecanismos robustos de supervisión. En este escenario, resulta esencial articular tres dimensiones fundamentales: **gestión de riesgos, gestión de la seguridad y resiliencia e integridad de las infraestructuras.**

El presente capítulo integra estas dimensiones en un marco de referencia unificado, analítico y operativo. Se enfatiza la necesidad de emplear metodologías avanzadas de identificación, cuantificación y mitigación de riesgos, así como la institucionalización de prácticas interdisciplinarias orientadas a la seguridad laboral, estructural y operacional. De igual modo, se aboga por un enfoque de resiliencia que permita a las infraestructuras públicas no solo resistir y mitigar perturbaciones, sino también adaptarse y recuperarse con eficiencia ante crisis o fenómenos extremos. El objetivo es proporcionar lineamientos para que los equipos técnicos y las instituciones públicas puedan **planificar, ejecutar, operar y mantener infraestructuras seguras, eficientes, sostenibles, confiables y adaptativas.**



## 7.2 Marco conceptual

- **Riesgo:** contingencia incierta que, de materializarse, compromete objetivos centrales del proyecto, como costos, cronograma, calidad técnica, alcance funcional o desempeño operativo.
- **Seguridad:** estado alcanzado a través de políticas, normas y prácticas sistemáticas que buscan minimizar daños a trabajadores, usuarios, bienes materiales y medioambiente en cada fase del ciclo de vida del proyecto.
- **Resiliencia:** capacidad de los sistemas de infraestructura para **resistir, absorber, adaptarse y recuperar su funcionalidad** tras perturbaciones de diversa índole: naturales (terremotos, inundaciones), tecnológicas (fallas críticas, ciberataques), sociales (conflictos comunitarios) o regulatorias.

**Principio rector:** la gobernanza integrada de riesgos, seguridad y resiliencia (GRS) exige sinergias entre normativas internacionales, uso de analítica avanzada, tecnologías emergentes y la implementación de ciclos de mejora continua.

## 7.3 Tipologías de riesgo en la infraestructura pública

1. **Financieros:** fluctuaciones en precios de materiales estratégicos, desviaciones presupuestarias, sobrecostos imprevistos y deficiencias en mecanismos de financiamiento.
  - Ejemplo: variaciones inesperadas en los precios del acero o del cemento que incrementan significativamente los costos globales del proyecto.
2. **Técnicos:** fallas en diseño, errores constructivos, problemas de constructibilidad, inadecuada gestión de tecnologías emergentes o deficiencias en especificaciones técnicas.
  - Ejemplo: fallos estructurales por diseños insuficientemente modelados frente a cargas sísmicas.
3. **Legales y regulatorios:** modificaciones normativas, vacíos en la legislación vigente, retrasos en permisos, conflictos contractuales o litigios prolongados.
  - Ejemplo: alteraciones en normas medioambientales que paralizan la construcción hasta adecuar los diseños.
4. **Ambientales y sociales:** impactos negativos en ecosistemas, reasentamientos de comunidades vulnerables, conflictos sociopolíticos o rechazo social al proyecto.
  - Ejemplo: proyectos viales que generan oposición comunitaria por falta de procesos de participación temprana.
5. **Cronograma:** retrasos derivados de planificación deficiente, problemas de coordinación entre múltiples actores, o condiciones climáticas adversas.

- Ejemplo: lluvias intensas que postergan plazos de ejecución en zonas críticas.
6. **Operacionales (post-obra):** deterioro acelerado de infraestructuras, ausencia de planes de mantenimiento, obsolescencia tecnológica y vulnerabilidades cibernéticas en sistemas digitales de control.
- Ejemplo: fallas en sistemas de señalización ferroviaria por ataques cibernéticos.

La adecuada gestión de estos riesgos demanda un *registro de riesgos* vivo y trazable durante todo el ciclo de vida, desde la prefactibilidad hasta la operación y mantenimiento.

#### 7.4 Herramientas y metodologías de gestión del riesgo

- **Análisis FODA (SWOT):** evaluación estratégica que diagnostica fortalezas y debilidades internas, así como oportunidades y amenazas externas.
- **Matriz Probabilidad–Impacto (P×I):** priorización mediante la valoración conjunta de probabilidad de ocurrencia e impacto potencial, lo que orienta acciones de mitigación, transferencia, evitación o aceptación.
- **Técnicas cuantitativas:**
  - *Simulación de Monte Carlo:* modela distribuciones probabilísticas de costos y plazos, generando curvas de contingencia y estimaciones de confiabilidad (p50, p80).
  - *Árboles de decisión:* representación de alternativas y escenarios bajo incertidumbre para identificar estrategias óptimas.
- **BIM con enfoque de riesgo:** integración de modelos 3D/4D/5D para detectar interferencias, modelar escenarios sísmicos y estimar costos asociados a incertidumbres.
- **Monitoreo IoT y Big Data:** sensorización estructural y ambiental vinculada a algoritmos predictivos de mantenimiento.
- **Plataformas digitales integradas:** dashboards de gestión con semáforos de riesgo, alertas tempranas y trazabilidad de acciones correctivas.

#### 7.5 Gestión de la seguridad

**Prevención de riesgos laborales:** capacitaciones periódicas, obligatoriedad de equipos de protección personal (EPP), procedimientos de permisos de trabajo y análisis seguro de tareas adaptados a cada fase constructiva.

**Seguridad estructural:** control de calidad de materiales, ensayos destructivos y no destructivos, pruebas de carga, así como modelaciones avanzadas que incorporan variables sísmicas y meteorológicas.

**Seguridad operacional:** programas de mantenimiento preventivo y predictivo en infraestructuras críticas; implementación de sistemas de supervisión en tiempo real en transporte masivo y hospitales.

**Estándares de referencia:** adopción de ISO 45001 y auditorías recurrentes dentro de un *Sistema de Gestión de Seguridad (SGS)* fundamentado en el ciclo PHVA (planificar–hacer–verificar–actuar).

Resultados esperados: disminución sistemática de accidentes, incremento de la productividad, reducción de costos asociados a incidentes, y fortalecimiento de la confianza ciudadana en la infraestructura pública.



## 7.6 Resiliencia e integridad infraestructural

- **Diseño resiliente:** incorporación de redundancias estructurales, criterios de adaptación climática y soluciones basadas en ecosistemas urbanos para mitigar impactos de inundaciones y desastres naturales.
- **Monitoreo estructural continuo (SHM):** sistemas avanzados de sensorización y gemelos digitales para anticipar fallas.
- **Planificación de recuperación:** elaboración de planes de contingencia, protocolos de continuidad operativa y priorización de servicios críticos ante desastres.

## 7.7 Gobernanza y procesos

- Consolidación de una **cultura organizacional de riesgo y seguridad**, extendida a contratistas, proveedores y comunidades.
- Establecimiento de protocolos de control para auditorías internas y externas, revisiones periódicas y gestión estructurada de cambios.
- Transformación digital con BIM, plataformas IoT y software de análisis cuantitativo con ciberseguridad integrada.
- Inclusión temprana de comunidades, reguladores y actores sociales para mejorar legitimidad y prevenir conflictos.

Ejemplo: implementación de tableros de mando en tiempo real por parte del Ministerio de Obras Públicas, integrando riesgos clave y responsables por fase.

## 7.8 Estudios de caso en Chile

- **Línea 3 del Metro de Santiago:** identificación temprana de riesgos de cronograma; mitigaciones efectivas que garantizaron cumplimiento de plazos.
- **Ampliación del Aeropuerto Arturo Merino Benítez:** simulaciones de Monte Carlo aplicadas a costos y plazos; prevención de sobrecostos significativos.
- **Hospital Sótero del Río:** implementación de protocolos ISO 45001, auditorías periódicas y reducción significativa de incidentes laborales.
- **Ruta 5 Sur:** modelado sísmico avanzado y refuerzo preventivo; reducción de tiempos de respuesta ante desastres.
- **Sistema de drenaje inteligente en Santiago:** sensorización IoT y análisis predictivo; mitigación de inundaciones urbanas y reducción de daños materiales.

## 7.9 Plan integrado GRS

### Fases del plan:

- *Prefactibilidad:* análisis estratégico inicial, identificación de actores clave, desarrollo de registro preliminar de riesgos.
- *Diseño:* uso de BIM 4D/5D, matrices de riesgo, simulaciones cuantitativas y planes preliminares de seguridad.
- *Licitación:* definición contractual de asignación de riesgos, garantías, indicadores de desempeño y cláusulas de seguridad.

- *Construcción*: implementación de SGS, controles de calidad, dashboards dinámicos de riesgo y auditorías.
- *Operación*: planes de O&M, monitoreo estructural SHM, protocolos de continuidad y recuperación post-desastre.

**RACI**: claridad en asignación de roles y responsabilidades: director del proyecto, mandante institucional, contratistas, comunidades y entes fiscalizadores.

**KPIs críticos**: tasas de accidentabilidad laboral, desviaciones costo-plazo en escenarios probabilísticos, disponibilidad de activos críticos, MTBF/MTTR, cobertura de sensorización SHM y tiempos de recuperación tras eventos disruptivos.

### 7.10 Recomendaciones estratégicas

1. Incorporar la gestión integrada GRS desde fases iniciales de planificación.
2. Basar decisiones en análisis probabilístico y revisiones *gate* con contingencias p50–p80.
3. Asegurar cumplimiento de estándares internacionales mediante auditorías externas.
4. Diseñar con criterios de redundancia, resiliencia climática y soluciones basadas en naturaleza.
5. Implementar sistemas de monitoreo en tiempo real y gemelos digitales.
6. Promover cooperación público–privada y multidisciplinaria.
7. Consolidar una cultura institucional donde seguridad y riesgo sean valores permanentes.

### 7.11 Glosario

- **BCP/DRP**: Plan de Continuidad del Negocio / Recuperación ante Desastres.
- **BIM 4D/5D**: Modelado con integración temporal y de costos.
- **SHM**: *Structural Health Monitoring*.
- **p-fecha**: indicador probabilístico de cumplimiento de hitos.

### 7.12 Conclusión

La institucionalización de un enfoque integrado de **riesgo, seguridad y resiliencia** constituye un imperativo estratégico en la gestión contemporánea de la infraestructura pública. Este enfoque no solo optimiza recursos financieros y humanos, sino que eleva la confiabilidad operativa, fomenta la transparencia y fortalece la legitimidad ante la ciudadanía. Además, asegura la **protección de las personas, la continuidad de servicios esenciales y la capacidad adaptativa ante escenarios**

**disruptivos.** En el caso de Chile, donde la exposición a riesgos sísmicos y climáticos es elevada, la consolidación de prácticas de GRS constituye una condición estructural para avanzar hacia un modelo de desarrollo infraestructural **sostenible, robusto, tecnológicamente avanzado y socialmente legítimo.**

# Capítulo 8: Gobernanza, Ética y Participación Ciudadana

## 8.1 Introducción

La ética, la gobernanza y la participación ciudadana constituyen ejes articuladores imprescindibles en la gestión de políticas y proyectos públicos, particularmente en el campo de la ingeniería industrial aplicada al sector estatal. Los ingenieros industriales que actúan en este contexto no pueden limitarse únicamente a demostrar pericia técnica en la formulación de soluciones de eficiencia o productividad; se espera de ellos un compromiso explícito con un ethos profesional que se sostenga en la responsabilidad social, la integridad ética y la disposición permanente a responder ante la ciudadanía.

En el caso chileno, la implementación de proyectos públicos se ve atravesada por problemáticas de orden estructural, entre ellas la corrupción, la opacidad en los procesos administrativos, las brechas de inequidad social y la creciente desconfianza en las instituciones. En consecuencia, la gestión pública contemporánea requiere la articulación de principios éticos sólidos, la construcción de sistemas de gobernanza transparentes y mecanismos efectivos de participación ciudadana que legitimen la acción estatal, fortalezcan el tejido institucional y aseguren beneficios que se distribuyan de forma equitativa entre los distintos segmentos sociales.

Este capítulo ofrece un marco de análisis integral que conjuga la ética profesional, la responsabilidad social, la gobernanza institucional y la participación ciudadana, con el propósito de iluminar su relevancia y sus interacciones en la gestión de proyectos públicos en Chile.



## 8.2 Ética y Responsabilidad Social en la Ingeniería Industrial Pública

### Principios Éticos Fundamentales

Los ingenieros industriales insertos en el aparato estatal deben regirse por un corpus normativo y axiológico que garantice tanto la integridad de sus decisiones como la legitimidad de sus actuaciones ante la comunidad política. En este sentido, se destacan los siguientes principios:

1. **Responsabilidad profesional:** adoptar decisiones bien informadas, sustentadas en un conocimiento técnico riguroso y en la actualización continua de saberes. La improvisación o el desconocimiento no son compatibles con el interés público.
2. **Integridad:** ejercer la función pública con independencia de influencias ilegítimas, absteniéndose de prácticas corruptas, favoritismos o sesgos partidistas.
3. **Confidencialidad y protección de datos:** resguardar con estricto celo la información sensible, en especial aquella relacionada con los derechos de los ciudadanos.
4. **Compromiso con el bienestar social:** orientar cada iniciativa hacia la promoción de la equidad, la inclusión y la justicia social, reconociendo que el beneficio colectivo se sitúa por encima de intereses particulares.
5. **Transparencia:** asegurar la rendición de cuentas mediante procesos documentados, verificables y accesibles a la ciudadanía.

Ejemplo: La Contraloría General de la República de Chile representa una institución clave en este entramado, pues supervisa de manera externa la correcta administración de recursos públicos, reforzando la cultura ética en el servicio público.

### Responsabilidad Social en el Sector Público

El ejercicio de la responsabilidad social implica que los proyectos públicos integren de manera transversal criterios de sostenibilidad, equidad y mejora de la calidad de vida. Esto se traduce en:

- **Desarrollo sostenible:** incorporación de estrategias que reduzcan emisiones contaminantes, fomenten las energías renovables y garanticen la preservación ambiental.
- **Equidad social:** distribución proporcional y justa de servicios y recursos, de modo que la acción estatal beneficie de manera equilibrada a sectores urbanos y rurales.
- **Inclusión social:** implementación de políticas que incorporen a los grupos históricamente marginados, como comunidades indígenas, personas en situación de discapacidad y sectores de bajos ingresos.

Ejemplo: Las políticas emanadas desde el Ministerio del Medio Ambiente de Chile, dirigidas a reducir emisiones de CO<sub>2</sub> y a conservar la biodiversidad, constituyen manifestaciones prácticas de responsabilidad social en la gestión pública.

## **Gestión de Conflictos de Intereses**

Los conflictos de interés representan riesgos críticos para la objetividad en la toma de decisiones. Los profesionales deben poseer la capacidad de identificar, declarar y gestionar dichos conflictos, priorizando siempre el interés colectivo. Una declaración oportuna y una administración transparente de estas tensiones constituyen prácticas indispensables para proteger la legitimidad de las acciones públicas.

## **Prevención y Gestión de la Corrupción**

La corrupción constituye uno de los obstáculos más severos para la legitimidad institucional. Entre las estrategias recomendadas para prevenir y gestionar estas prácticas se incluyen:

- Fortalecimiento y diversificación de los mecanismos de rendición de cuentas.
- Establecimiento de auditorías externas e internas periódicas, con criterios de independencia técnica.
- Implementación de programas de formación ética permanente y sensibilización en todos los niveles del aparato estatal.

## **8.3 Gobernanza en Proyectos Públicos**

La gobernanza, entendida como el entramado de procesos, estructuras normativas y dinámicas de decisión que regulan la gestión de proyectos públicos, es esencial para garantizar la eficiencia y legitimidad de la acción estatal. Una gobernanza sólida permite reducir asimetrías de información, prevenir prácticas discrecionales y fortalecer la confianza ciudadana en el sistema político-administrativo.

### **Principios Rectores de la Gobernanza**

1. **Transparencia y responsabilidad:** ofrecer acceso irrestricto a información relevante y establecer canales claros de rendición de cuentas.
  - Ejemplo: El portal de transparencia habilitado en la construcción de la Ruta 68 permitió que los ciudadanos accedieran a datos en tiempo real, lo que contribuyó a reducir tensiones sociales.
2. **Inclusión y multidisciplinariedad:** involucrar en los procesos de toma de decisión a diversos actores, desde expertos técnicos hasta representantes comunitarios, fortaleciendo la legitimidad de las medidas adoptadas.
  - Ejemplo: El comité de gobernanza del nuevo aeropuerto de Santiago incorporó activamente a residentes y especialistas ambientales.
3. **Gestión de riesgos y cumplimiento normativo:** detectar de manera preventiva riesgos técnicos, sociales y ambientales, al tiempo que se asegura la conformidad con normativas nacionales e internacionales.

- Ejemplo: Las evaluaciones de impacto ambiental efectuadas en la rehabilitación del Hospital de Antofagasta consolidaron un proceso más robusto y ajustado a estándares de seguridad.

#### 8.4 Participación Ciudadana en Proyectos Públicos

La participación ciudadana se erige no solo como un mecanismo de legitimación democrática, sino como una fuente invaluable de información local que permite enriquecer el diseño, ejecución y evaluación de los proyectos públicos.



#### Principios Fundamentales

1. **Consulta pública y participación activa:** uso de audiencias, consultas presenciales y plataformas digitales para captar percepciones sociales y mitigar resistencias.
  - Ejemplo: Las consultas comunitarias desarrolladas durante la construcción del Metro de Santiago ampliaron el espectro de legitimidad del proyecto.
2. **Comunicación clara y transparente:** garantizar que la ciudadanía disponga de información periódica y precisa sobre avances, modificaciones y medidas de mitigación.
  - Ejemplo: Los boletines comunitarios implementados en la ampliación de la Ruta 5 Sur constituyeron una herramienta eficaz de comunicación social.

3. **Empoderamiento comunitario:** promover la educación ciudadana y la formación de liderazgos locales que contribuyan a una participación informada.
  - Ejemplo: Los talleres educativos vinculados a la rehabilitación del Puente Colgante de Santiago fortalecieron la apropiación social del proyecto.

### Herramientas y Estrategias

- Plataformas digitales interactivas para retroalimentación en tiempo real.
- Consultas comunitarias periódicas organizadas en las fases críticas de los proyectos.
- Integración de mecanismos de participación desde las etapas iniciales de planificación y diseño.

### 8.5 Innovación en la Gobernanza y Contrataciones Públicas

La gestión de contrataciones públicas constituye un punto neurálgico en el éxito o fracaso de los proyectos de infraestructura. Su modernización mediante la incorporación de tecnologías emergentes y enfoques innovadores se traduce en mayores niveles de transparencia, eficiencia administrativa y competitividad.

#### Principios de Contratación

- **Transparencia:** asegurar que los procesos de licitación se encuentren abiertos a la supervisión pública y sean accesibles a todos los interesados.
- **Competencia justa:** establecer criterios objetivos que eviten favoritismos y promuevan la participación de diversos oferentes.
- **Eficiencia:** estructurar contratos de desempeño que vinculen pagos a hitos específicos y establecer sistemas de monitoreo digital de alto nivel.

#### Innovaciones Tecnológicas

- **Plataformas electrónicas de licitación** como ChileCompra, que democratizan el acceso a procesos de contratación.
- **Algoritmos de inteligencia artificial y Big Data** orientados a la evaluación predictiva de contratistas.
- **Blockchain** como tecnología de respaldo en la seguridad de contratos y transacciones, reduciendo el margen de fraude.

#### Beneficios

- Reforzamiento de la confianza ciudadana en la administración pública.
- Reducción significativa de costos y tiempos de gestión.

- Incremento de la calidad técnica y la robustez de los proyectos.

#### **Desafíos**

- Persistencia de brechas en infraestructura tecnológica y resistencia al cambio institucional.
- Elevación del riesgo en materia de ciberseguridad.
- Dificultad de inclusión de pequeñas y medianas empresas en licitaciones complejas.

### **8.6 Beneficios y Desafíos Integrados**

#### **Beneficios**

- Consolidación de la confianza institucional mediante prácticas de transparencia y rendición de cuentas.
- Mejora sostenida de la calidad y sostenibilidad de proyectos estratégicos.
- Atenuación de tensiones sociales a través de mecanismos participativos.
- Utilización más eficiente y racional de los recursos públicos.

#### **Desafíos**

- Insuficiencia en las capacidades técnicas relacionadas con gobernanza participativa.
- Persistencia de la desconfianza ciudadana hacia el aparato estatal.
- Limitaciones en el acceso y uso equitativo de tecnologías de contratación digital.

### **8.7 Conclusión**

La convergencia entre ética, gobernanza y participación ciudadana en el ámbito de la ingeniería industrial pública debe entenderse como un requisito ineludible para la construcción de proyectos transparentes, inclusivos y sostenibles. Las innovaciones tecnológicas aplicadas a la gestión contractual y a los mecanismos de gobernanza generan oportunidades inéditas para fortalecer la eficiencia administrativa y la legitimidad institucional. No obstante, estos avances traen consigo retos asociados a la formación de capacidades, la gestión de riesgos digitales y la necesidad de incorporar de manera equitativa a todos los actores involucrados.

En el contexto chileno, avanzar hacia un modelo de gestión pública más ético, transparente y participativo contribuirá no solo a mejorar la calidad de los proyectos de infraestructura, sino también a robustecer las bases democráticas y a propiciar un bienestar social más justo y sostenible a largo plazo.

# Capítulo 9: Desafíos Financieros (APP y Bonos)

## 9.1 Introducción

El financiamiento de proyectos públicos de infraestructura constituye uno de los ejes más complejos, sensibles y determinantes para la viabilidad del desarrollo económico, social y territorial de un país. En el caso chileno, obras como carreteras, hospitales, sistemas de transporte metropolitano, plantas de energía renovable y puentes demandan no solo inversiones iniciales de gran magnitud, sino también mecanismos de gestión financiera sofisticados que aseguren su sostenibilidad Inter temporal y la maximización del valor público. La literatura académica enfatiza que los proyectos de infraestructura no pueden entenderse únicamente como activos físicos, sino como flujos de inversión y costos que deben gestionarse a lo largo de décadas.

En este sentido, el análisis de los desafíos financieros implica examinar la interacción entre los costos de capital, los riesgos exógenos (como shocks internacionales de precios o crisis políticas) y los riesgos endógenos (asociados a la capacidad de gestión del Estado), así como las estrategias de apalancamiento y los esquemas institucionales de colaboración entre sectores públicos y privados. De esta manera, la reflexión sobre los instrumentos financieros, tales como las alianzas público-privadas (APP) y la emisión de bonos, se vuelve fundamental para entender no solo cómo se financian las obras, sino también cómo se asegura su mantenimiento, su adaptabilidad y su legitimidad social. Este capítulo presenta los principales obstáculos financieros, las estrategias de financiamiento predominantes, y las implicancias de una gestión financiera eficiente, tanto en su dimensión fiscal como en su impacto en el bienestar colectivo.



## 9.2 Principales Desafíos Financieros en Proyectos Públicos de Infraestructura

### 1. Costos Iniciales Elevados

La magnitud del capital requerido para proyectos de infraestructura de gran escala excede de manera recurrente la capacidad presupuestaria de los gobiernos centrales. Estos costos iniciales, al concentrarse en la fase de construcción, generan una alta exposición al riesgo financiero y pueden tener efectos directos sobre la deuda soberana y la estabilidad macroeconómica. Además, la rigidez de los presupuestos públicos impone restricciones fiscales que obligan a diferir o redimensionar proyectos estratégicos.

- **Ejemplo:** La Línea 3 del Metro de Santiago, financiada con bonos y transferencias fiscales, ilustró la tensión entre la urgencia social de expandir el transporte público y la limitada capacidad presupuestaria del Estado.
- **Ámbitos de aplicación:** Transporte urbano, infraestructura verde, proyectos de mitigación de cambio climático.

### 2. Riesgo Financiero y Variaciones de Costos

La volatilidad de los mercados internacionales de insumos estratégicos como acero, cemento, combustibles fósiles y energía eléctrica repercute directamente en los presupuestos de infraestructura. Esta volatilidad introduce incertidumbre sobre la viabilidad de los cronogramas de construcción y genera potenciales brechas de financiamiento.

- **Ejemplo:** La construcción de la Ruta 5 experimentó incrementos imprevistos en asfalto y derivados del petróleo, que obligaron a reconfigurar la estrategia de costos mediante insumos reciclados.
- **Ámbitos de aplicación:** Proyectos de carreteras, hospitales, redes eléctricas, obras hidráulicas.

### 3. Costos de Mantenimiento a Largo Plazo

La planificación insuficiente de los costos de operación y mantenimiento puede comprometer la sostenibilidad de las obras, generando sobrecostos acumulativos y deterioro de la eficiencia social. Una infraestructura que no incorpora mecanismos de financiamiento para su mantenimiento tiende a perder valor con rapidez y a exigir nuevas inyecciones de capital público.

- **Ejemplo:** El diseño del sistema de buses eléctricos de Santiago incluyó el costo del mantenimiento de las baterías y la red de carga, reduciendo gastos a largo plazo.
- **Ámbitos de aplicación:** Transporte masivo, hospitales, sistemas de energía renovable.

## 9.3 Estrategias de Financiamiento en Proyectos de Infraestructura

### 1. Alianzas Público-Privadas (APP)

Las APP constituyen un esquema complejo de cooperación intersectorial en el cual los riesgos financieros, operativos y de gestión son compartidos entre el Estado y agentes privados. Este modelo, extendido a nivel global, ha mostrado su capacidad para atraer capital, promover

eficiencia en la construcción y acelerar los tiempos de ejecución, aunque también plantea riesgos relacionados con la distribución equitativa de beneficios y la transparencia.

- **Ejemplo:** La Ruta 5 Sur, gestionada bajo concesión, permitió que concesionarios privados asumieran costos de construcción y mantenimiento bajo un esquema de ingresos garantizados por peajes.

## 2. Emisión de Bonos y Fondos Públicos

La emisión de bonos de infraestructura constituye un instrumento que facilita al Estado captar recursos de inversionistas privados sin comprometer en el corto plazo la totalidad del gasto fiscal. Los bonos verdes han cobrado importancia particular, dado que integran objetivos de sostenibilidad con el financiamiento de proyectos estratégicos.

- **Ejemplo:** El nuevo aeropuerto de Santiago fue financiado parcialmente con bonos respaldados en tarifas aeroportuarias, lo que redujo la presión sobre el presupuesto central.

## 3. Subvenciones y Fondos Internacionales

Los organismos multilaterales, como el Banco Mundial y el FMI, aportan financiamiento concesional y apoyo técnico, especialmente en proyectos que presentan externalidades ambientales o sociales de alcance global. Estos recursos complementan el financiamiento doméstico y permiten reducir la carga fiscal.

- **Ejemplo:** El sistema de transporte eléctrico de Valparaíso recibió apoyo del Banco Mundial para la adquisición de buses eléctricos y la instalación de estaciones de carga.

## 9.4 Beneficios de una Gestión Financiera Eficiente

### 1. Sostenibilidad Financiera Intertemporal

Una planificación integral que contemple el ciclo de vida completo de las obras asegura la continuidad del servicio, evita interrupciones operativas y fortalece la resiliencia fiscal. Esta sostenibilidad se traduce en estabilidad macroeconómica y mayor credibilidad del Estado en los mercados financieros.

- **Ejemplo:** El Metro de Santiago reinvierte ingresos tarifarios en mantenimiento y expansión, asegurando equilibrio financiero y continuidad del servicio.

### 2. Garantía de Calidad en la Ejecución

Un rigor financiero sólido reduce las probabilidades de desviaciones presupuestarias y plazos incumplidos, permitiendo mantener estándares de seguridad, resiliencia y calidad técnica.

- **Ejemplo:** Proyectos hospitalarios en Santiago lograron implementar tecnologías de eficiencia energética sin comprometer la calidad del servicio.

### 3. Incremento de la Legitimidad y Confianza

La transparencia en el uso de recursos fortalece la legitimidad institucional y fomenta la confianza de inversionistas privados, actores multilaterales y ciudadanía.

- **Ejemplo:** El puente Colgante de Santiago, gestionado con auditorías y reportes públicos, consolidó la confianza ciudadana y del sector privado.

## 9.5 Desafíos en la Gestión Financiera

### 1. Inestabilidad Económica y Cambios de Política

La volatilidad macroeconómica y los giros en prioridades gubernamentales afectan la continuidad de proyectos estratégicos. Los cambios de administración pueden provocar retrasos, reestructuraciones contractuales o incluso cancelaciones.

- **Soluciones:** Diversificar fuentes de financiamiento mediante APP, bonos verdes y fondos internacionales; diseñar planes de contingencia con escenarios alternativos.

### 2. Retrasos y Sobrecostos

Los desajustes entre la planificación y la ejecución generan sobrecostos acumulativos y pérdida de eficiencia en la asignación de recursos.

- **Soluciones:** Implementar metodologías de gestión de riesgos, monitoreo permanente y sistemas de control de desempeño vinculados a hitos de ejecución.

### 3. Desalineación entre Construcción y Operación

El sesgo hacia los costos de inversión inicial invisibiliza las necesidades de operación y mantenimiento a largo plazo.

- **Soluciones:** Incluir desde la etapa de diseño las proyecciones de mantenimiento, desarrollar contratos de concesión que consideren toda la vida útil de la infraestructura.

## 9.6 Estrategias de Mejora en la Gestión Financiera

### 1. Consolidación de APP

La institucionalización de APP como instrumento recurrente de financiamiento fortalece la eficiencia del gasto público y reduce la exposición del Estado a riesgos financieros unilaterales. No obstante, requiere marcos regulatorios sólidos y mecanismos de control para garantizar que los beneficios sociales prevalezcan sobre los intereses privados.

- **Ejemplo:** En el Metro de Santiago, inversionistas privados financiaron parte de la construcción bajo un esquema regulado de tarifas y subsidios.

## 2. Expansión de Bonos Verdes y Finanzas Sostenibles

El financiamiento mediante bonos verdes integra objetivos ambientales con la gestión fiscal, lo cual atrae capital de inversionistas responsables y mejora la reputación del país en los mercados internacionales.

- **Ejemplo:** La incorporación de tecnologías de eficiencia energética en el aeropuerto de Santiago fue posible gracias a bonos verdes que respaldaron la inversión.

## 3. Innovación en Gestión de Costos de Operación

La adopción de tecnologías disruptivas como Big Data, IoT e IA permite estimaciones dinámicas, optimización de recursos y reducción de costos recurrentes. La implementación de sistemas inteligentes de monitoreo contribuye a una mayor transparencia y eficiencia en la gestión de activos.

- **Ejemplo:** Plataformas digitales de gestión de infraestructuras en Chile permiten controlar en tiempo real el estado de carreteras, puentes y sistemas eléctricos.

## 9.7 Conclusión

La gestión financiera de proyectos públicos de infraestructura debe concebirse como un proceso integral que articula sostenibilidad fiscal, innovación tecnológica, legitimidad política y colaboración intersectorial. Los esquemas de APP, los bonos verdes y la planificación de ciclo de vida constituyen instrumentos indispensables para garantizar que los proyectos no solo se materialicen, sino que generen valor social y económico duradero. La institucionalización de buenas prácticas financieras refuerza la resiliencia frente a contingencias económicas y políticas, al tiempo que promueve un modelo de desarrollo equitativo, sostenible y transparente.

### Recomendaciones Finales:

1. Consolidar APP como mecanismo estructural de financiamiento y gobernanza compartida.
2. Ampliar el uso de bonos verdes y mecanismos de financiamiento sostenible para proyectos con externalidades ambientales.
3. Incorporar innovación tecnológica para optimizar costos operativos, prolongar la vida útil de infraestructuras y reducir impactos ambientales.
4. Reforzar mecanismos de transparencia, auditoría independiente y rendición de cuentas ciudadana.
5. Integrar sistemáticamente la planificación de ciclo de vida en todos los proyectos de infraestructura pública.
6. Fortalecer la formación de profesionales especializados en gestión financiera avanzada, finanzas sostenibles y evaluación de riesgos en infraestructura.

## Conclusión General

La gestión y transformación de la infraestructura pública en Chile enfrenta un doble desafío: responder a las necesidades inmediatas de una ciudadanía en constante evolución y, al mismo tiempo, proyectar un modelo de desarrollo sostenible, inclusivo y resiliente.

A lo largo de este libro se ha evidenciado cómo la ingeniería industrial, combinada con la innovación tecnológica y una visión ética de la gestión pública, se convierte en una herramienta estratégica para enfrentar las limitaciones presupuestarias, la complejidad regulatoria y los impactos sociales y ambientales de los proyectos.

La experiencia chilena muestra que la aplicación de metodologías avanzadas, el fortalecimiento de la gobernanza, la incorporación de la participación ciudadana y el compromiso con la sostenibilidad son elementos imprescindibles para construir un Estado moderno y legítimo.

En definitiva, la infraestructura pública debe dejar de concebirse como una obra aislada para asumirse como parte de un sistema vivo, dinámico y orientado al bienestar colectivo. La gran tarea por delante consiste en asegurar que cada puente, hospital, escuela, carretera o sistema de transporte no solo cumpla con estándares técnicos, sino que también contribuya a fortalecer la cohesión social, reducir desigualdades y garantizar un futuro sostenible para Chile.

# Glosario

**APP (Alianza Público-Privada):** Modelo de cooperación entre el Estado y actores privados para financiar, construir y operar proyectos de infraestructura.

**BIM (Building Information Modeling):** Metodología digital colaborativa que permite modelar infraestructuras en 3D, 4D y 5D, optimizando diseño, costos y tiempos.

**Big Data:** Conjunto de técnicas de análisis de grandes volúmenes de datos que permiten identificar patrones y mejorar la toma de decisiones.

**Ciclo de Vida (Life Cycle):** Enfoque que considera todas las etapas de un proyecto, desde el diseño hasta el mantenimiento y disposición final.

**Economía Circular:** Modelo de desarrollo que busca prolongar el ciclo de vida de materiales y reducir residuos a través de la reutilización y reciclaje.

**EVM (Earned Value Management):** Técnica de gestión de proyectos que mide desempeño en costos y tiempos mediante indicadores de valor ganado.

**Gobernanza:** Conjunto de procesos y estructuras que regulan la toma de decisiones en proyectos y políticas públicas.

**IoT (Internet of Things):** Red de objetos y sensores interconectados que recopilan y transmiten datos en tiempo real.

**ISO 9001:** Norma internacional de gestión de calidad basada en procesos y mejora continua.

**Lean Management / Lean Government:** Filosofía de gestión orientada a eliminar desperdicios, mejorar la eficiencia y generar valor para el ciudadano.

**PMBOK (Project Management Body of Knowledge):** Marco metodológico reconocido internacionalmente para la gestión de proyectos.

**Resiliencia:** Capacidad de un sistema o infraestructura para resistir, adaptarse y recuperarse frente a crisis o perturbaciones.

**Six Sigma:** Metodología de mejora continua basada en reducir la variabilidad de procesos y aumentar la calidad.

**Sostenibilidad:** Principio que integra el equilibrio entre desarrollo económico, equidad social y protección ambiental en la gestión de proyectos.

## Bibliografía

1. **Alonso, L., & Rodríguez, M.** (2019). *Gestión de proyectos de infraestructura pública: Teoría y práctica*. Editorial Gestión Pública.
2. **Bovens, M., & Zouridis, S.** (2018). *La gobernanza y la infraestructura pública: Un enfoque desde el sector público*. Editorial Internacional de Gobernanza.
3. **Martínez, P., & García, S.** (2020). *Innovación en la infraestructura pública: Retos y oportunidades en la era digital*. Universidad de Chile, Facultad de Ingeniería.
4. **OECD.** (2018). *Infrastructure Governance and Financing: Achieving Sustainable Development Goals*. OECD Publishing.
5. **Sánchez, A.** (2021). *Gestión de riesgos en proyectos de infraestructura: Enfoque práctico y metodológico*. Editorial Gestión de Riesgos.
6. **World Bank.** (2019). *Public-Private Partnerships for Infrastructure Development: A Guide for Governments*. The World Bank Group.
7. **Zarate, R.** (2020). *Transformación digital en la infraestructura pública: De la planificación a la ejecución*. Ediciones Técnicas.
8. **Chilean Ministry of Public Works (MOP).** (2021). *Informe de Proyectos de Infraestructura y Sostenibilidad 2020-2021*. Gobierno de Chile.
9. **Griffin, R. W., & Moorhead, G.** (2018). *Organizational Behavior: Managing People and Organizations*. Cengage Learning.
10. **IHS Markit.** (2019). *Future of Infrastructure: Innovations in Design, Construction and Management*. IHS Markit Publications.