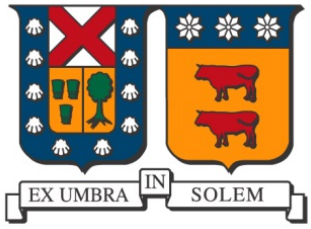
UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA
VALPARAÍSO - CHILE



“PLATAFORMA SAAS DE GESTIÓN DE SOLICITUDES CIUDADANAS CON EXPEDIENTE ELECTRÓNICO TRAZABLE: CUMPLIMIENTO DEL COMPONENTE DE DIGITALIZACIÓN DE LA LEY N° 21.180”

FRANCO REINOSO ARAYA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL EN INFORMÁTICA

Profesor Guía: Raúl Monge Anwandter
Profesor Correferente: Wladimir Ormazábal Orellana

Octubre - 2026

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

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

Título del trabajo: Plataforma SaaS de gestión de solicitudes ciudadanas con expediente electrónico trazable: cumplimiento del componente de digitalización de la ley N° 21.180

Nombre del candidato(a): Franco Reinoso

Carrera / Grado: INGENIERÍA CIVIL EN INFORMÁTICA

Campus: Casa Central **Departamento:** Informática

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

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

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

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

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

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

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

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

4.- FIRMAS

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

Fecha: 23/10/26 **Firma:** Raúl Monge

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 23/10/2026 **Firma:** Reinoso

DEDICATORIA

Para mi familia, en especial para mis abuelos.
Espero que puedan estar orgullosos de su nieto.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a mis padres y a mi hermana por haber estado siempre ahí cuando los necesité, dándome sus palabras de apoyo. A mi madrina y a mi tío, por ofrecerme siempre un segundo hogar en el que estar. A mi abuela, por todo el cariño brindado. A mi profesor guía, por la confianza y la ayuda en el desarrollo de este trabajo.

RESUMEN

Resumen— La Ley N° 21.180 obliga a los 261 municipios del Grupo C a sustentar sus procedimientos administrativos en un expediente electrónico trazable antes del 31 de diciembre de 2027. Un relevamiento propio de cuatro de ellos encontró que sus canales de ingreso (formularios de contacto, correo electrónico y formularios de terceros) no entregan al ciudadano un identificador de caso ni permiten consultar en línea el estado de su tramitación. Este trabajo diseña e implementa una plataforma SaaS que produce dicho expediente con identificador único de caso, registro de auditoría y comprobante verificable. El flujo modela el ciclo completo (ingreso, clasificación, asignación, resolución y notificación) como máquina de estados auditable adscrita a las etapas del procedimiento administrativo. La validación emplea una matriz de trazabilidad, un checklist de conformidad y pruebas de carga sin requerir despliegue en producción, y reporta para cada uno de los diez requisitos derivados de la norma su estado de cobertura y el modo en que se verificó.

Palabras Clave— expediente electrónico, trazabilidad, solicitudes ciudadanas, municipios, SaaS.

ABSTRACT

***Abstract*—** Law No. 21,180 requires the 261 Group C municipalities in Chile to support their administrative procedures with a traceable electronic file before December 31, 2027. A survey of four of them found that their intake channels (contact forms, email, and third-party forms) give citizens neither a case identifier nor any way to check the status of their request online. This study designs and implements a SaaS platform that generates such a file with a unique case identifier, an audit log, and a verifiable receipt. The workflow models the full lifecycle (intake, classification, assignment, resolution, and notification) as an auditable state machine mapped onto the stages of the administrative procedure. Validation uses a requirements traceability matrix, a compliance checklist, and load testing without production deployment, reporting for each of the ten requirements derived from the regulation its coverage status and how it was verified.

***Keywords*—** electronic file, traceability, citizen requests, municipalities, SaaS.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN iv

ABSTRACT iv

ÍNDICE DE FIGURAS vii

ÍNDICE DE TABLAS vii

INTRODUCCIÓN 1
Objetivos . . . 2
Metodología . . . 2
Estructura del documento . . . 3

CAPÍTULO 1: DEFINICIÓN DEL PROBLEMA 4
1.1 Contexto . . . 4
1.2 Delimitación del segmento objetivo . . . 5
1.3 Casos de estudio sobre municipios para el planteamiento del problema . . . 5
1.4 Actores involucrados . . . 6
1.5 Dificultades y magnitud del problema . . . 6
1.6 Consecuencias de no resolver el problema . . . 7
1.7 Árbol del problema . . . 8
1.8 El problema como problema complejo de ingeniería . . . 9

CAPÍTULO 2: MARCO CONCEPTUAL 11
2.1 Propósito de este marco . . . 11
2.2 Marco normativo: los conceptos que impone la Ley N° 21.180 . . . 11
2.2.1 Gradualidad: Grupos A, B y C, y clasificación FIGEM . . . 12
2.2.2 Notificación electrónica en la práctica: Domicilio Digital Único y Casilla Única . . . 13
2.3 Conceptos de gestión pública municipal . . . 13
2.4 Fundamentos tecnológicos de la solución propuesta . . . 14
2.5 Estado del arte: soluciones ya existentes al mismo problema . . . 15
2.6 Literatura académica sobre gobierno digital . . . 18
2.7 Síntesis: relación de estos conceptos con la memoria . . . 19

CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE SOLUCIÓN 20
3.1 Fundamento de la solución . . . 20
3.2 Descripción general de la solución: Munia . . . 21
3.3 Arquitectura de la solución . . . 22
3.4 Alcance funcional del sistema . . . 25
3.5 Modelo de trazabilidad: el expediente electrónico como máquina de estados 26
3.6 Modelo de datos . . . 27
3.6.1 Modelo documental frente a modelo relacional . . . 29

3.7 Módulo de expediente electrónico y comprobante verificable 30
3.8 Autenticación, roles y seguridad multi-tenant 30
3.9 Cumplimiento normativo 32
3.10 Estrategia de validación 33
3.11 Alcance y limitaciones 34

CAPÍTULO 4: VALIDACIÓN DE LA SOLUCIÓN **37**
4.1 OE1 --- Requisitos normativos del expediente electrónico 37
4.2 OE2 y OE3 --- Ciclo de trazabilidad e implementación del expediente 39
4.2.1 OE2: Ciclo de trazabilidad como máquina de estados 39
4.2.2 OE3: Módulo de expediente electrónico 40
4.3 OE4 --- Validación por instrumentos técnicos 42
4.3.1 Instrumento 1: Matriz de trazabilidad de requisitos 42
4.3.2 Instrumento 2: Checklist de conformidad normativa 44
4.3.3 Instrumento 3: Prueba de carga 46
4.3.4 Verificación del objetivo general: sin infraestructura propia 52
4.4 Comparación de escenarios: situación anterior vs. situación con Munia . . . 52
4.5 Validación complementaria por juicio de expertos 54

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES **55**
5.1 Resultados frente a los objetivos 55
5.2 Qué quedó demostrado y qué no 56
5.3 Contribución 57
5.4 Limitaciones 57
5.5 Líneas de continuación 58
5.6 Aprendizaje 59

ANEXOS **60**
Anexo A --- Catálogo de módulos y casos de uso 60
Anexo B --- Relevamiento de canales de ingreso de solicitudes ciudadanas 66
Anexo C --- Repositorios de código y estado de referencia 68
Anexo D --- Seguridad: autoevaluación de agosto y revisión independiente de septiembre 2026 69
Anexo E --- Salida del instrumento de prueba de carga 75
Anexo F --- Instrumento de validación por juicio de expertos 76

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS **77**

GLOSARIO **82**

ÍNDICE DE FIGURAS

1 Grupos de gradualidad de la Ley N° 21.180 4
2 Árbol del problema 8
3 Arquitectura general de la solución 24
4 Flujo de trazabilidad del expediente electrónico 27

ÍNDICE DE TABLAS

1 Correspondencia entre causas, objetivos, componentes e instrumentos . . . 9
2 Efectos del problema y funcionalidades de Munia 22
3 Stack tecnológico de Munia 23
4 Módulos del núcleo del sistema (F1) y su estado 25
5 Colecciones principales del modelo de datos 28
6 Roles del sistema 31
7 Estado de cumplimiento de los requisitos normativos 32
8 Requisitos mínimos del expediente electrónico 38
9 Estados del sistema según las etapas del procedimiento 40
10 Evidencia de implementación del expediente electrónico 41
11 Matriz de trazabilidad de requisitos 42
12 Checklist de conformidad normativa 45
13 Resultados de la prueba de carga 48
14 Creación de solicitudes ante concurrencia creciente 49
15 Operación observada frente a la situación con Munia 52
16 Tareas de arranque de la Fase 0 y su estado 61
17 Módulos de las fases 2 a 5 y sus casos de uso 66
18 Canales de ingreso de solicitudes en los municipios de la muestra 67
19 Repositorios del sistema y *commits* de referencia 68
20 Hallazgos de la autoevaluación de seguridad por pasada 70
21 Hallazgos pendientes de la autoevaluación y su bloqueador 71
22 Hallazgos de la revisión independiente por severidad 72
23 Estado final de los pendientes de la Fase 1 74

INTRODUCCIÓN

La transformación digital del Estado en Chile avanza desde hace más de 5 años por mandato legal. La Ley N° 21.180 [1] establece que todo procedimiento administrativo debe sustentarse en soporte electrónico, y en particular exige que cualquier documento en papel que ingrese a un órgano del Estado sea digitalizado de inmediato e incorporado a un expediente electrónico trazable, según lo detalla el Decreto 4/2021 que reglamenta la expresión electrónica de dichos procedimientos [2]. Sin embargo, la ley reconoce que no todos los organismos parten del mismo punto: el DFL N° 1 (2021) distribuye a las instituciones obligadas en tres grupos de gradualidad (A, B y C) y nomina expresamente a los municipios que integran cada uno [3]. La Ley N° 21.464 prorrogó posteriormente esos plazos e incorporó una fase preparatoria previa, fijando diciembre de 2026 como plazo de cumplimiento para el Grupo A y el 31 de diciembre de 2027 para los Grupos B y C, donde se ubican los municipios [4].

Los municipios del Grupo C (261 de las 345 municipalidades del país, el 75,7 %) enfrentan el escenario más adverso. El relevamiento propio de cuatro de ellos que documenta el Capítulo 1 encontró que administran sus solicitudes ciudadanas mediante papel, planillas y formularios de terceros: ninguno de esos mecanismos genera el expediente electrónico que exige la ley, ni deja constancia con la cual acreditar ante una fiscalización de la Contraloría o el Consejo para la Transparencia que un caso fue ingresado, tramitado y resuelto dentro de plazo. La muestra es ilustrativa y no autoriza a extender ese hallazgo al resto del grupo; lo que sí alcanza a los 261 por igual es la obligación legal. El Índice de Madurez en Transformación Digital 2024 confirma que la mayoría de las instituciones evaluadas, incluidas las municipalidades, permanecen en etapas iniciales de digitalización [5], lo que convierte esta brecha en un riesgo concreto de incumplimiento normativo para tres de cada cuatro municipios del país.

El presente documento presenta el diseño e implementación de una plataforma SaaS de gestión de solicitudes ciudadanas capaz de generar un expediente electrónico trazable, con identificador único de caso, registro de auditoría exportable y comprobante verificable para el ciudadano. La literatura de gobierno electrónico revisada se orienta predominantemente a organizaciones que ya cuentan con sistemas digitalizados como punto de partida: los modelos evolutivos por etapas sitúan la digitalización de trámites individuales como un estadio ya superado [6], los marcos de creación de valor público mediante tecnologías inteligentes presuponen una base tecnológica sobre la cual construir [7], y los estudios sobre difusión del gobierno electrónico en gobiernos locales documentan que la adopción se concentró en los de mayor tamaño y recursos, dejando rezagados de forma persistente a los pequeños [8, 9]. Este trabajo aborda, en cambio, el caso de municipios que operan desde cero, en papel puro, lo que constituye un problema de diseño abierto: existe literatura chilena que diagnostica esta brecha bajo la misma ley [10, 11], pero no un sistema implementado y acreditable que la resuelva, según se detalla en el Capítulo 1.

Objetivos

Objetivo general. Diseñar e implementar una plataforma SaaS multi-tenant que permita a municipios de Grupo C generar un expediente electrónico trazable para sus solicitudes ciudadanas, conforme a los requisitos de la Ley N° 21.180 y el Decreto 4/2021, sin requerir infraestructura propia.

Objetivos específicos:

1. Derivar los requisitos mínimos del expediente electrónico a partir del análisis normativo de la Ley N° 21.180 y el Decreto 4/2021, complementado con un relevamiento del estado del arte en municipios chilenos y proveedores existentes.
2. Diseñar e implementar el ciclo completo de trazabilidad de una solicitud ciudadana (ingreso, clasificación, asignación, resolución y notificación) como una máquina de estados auditable conforme al Decreto 4/2021.
3. Implementar el módulo de expediente electrónico con identificador único de caso, registro de auditoría exportable y comprobante verificable para el ciudadano.
4. Validar la solución mediante una matriz de trazabilidad de requisitos, un checklist de conformidad con la Ley N° 21.180 y pruebas de carga.

Metodología

El trabajo sigue un enfoque de desarrollo iterativo incremental organizado en seis fases (F0–F5), que van desde las tareas de arranque del proyecto hasta las integraciones con organismos externos del Estado. Conviene precisar qué significa aquí ese enunciado, para no reclamar un método más formal del que se siguió. La unidad de avance fue el **módulo**, no el *sprint*: cada módulo se daba por cerrado cuando sus casos de uso quedaban operativos de extremo a extremo (interfaz, API y persistencia) y verificados manualmente sobre el emulador, y solo entonces se abría el siguiente. El orden lo fijaron las dependencias técnicas, comenzando por el modelo de solicitud y la autenticación, sobre los que descansa todo lo demás. La verificación sistemática llegó después, no durante: la autoevaluación de seguridad del Anexo D, organizada en pasadas sucesivas sobre superficies distintas del sistema, es el instrumento de proceso más estructurado que este trabajo aplicó, y se documenta allí con su metodología.

El alcance de esta memoria corresponde al núcleo funcional de la Fase 1. El sistema completo fue dimensionado por anticipado mediante *Use Case Points* (una técnica de estimación de esfuerzo), que sobre 29 módulos y 78 casos de uso arrojó 763 horas técnicas (UUCP = 829, TCF = 1,07, ECF = 0,86) más 200 horas de documentación normativa; el detalle está en el Anexo A. Esa estimación sirvió para delimitar qué entraba en el alcance comprometido y

qué quedaba como referencia del producto completo, y es la base sobre la que el Capítulo 4 reporta el estado de avance.

La derivación de requisitos se apoya en el análisis del texto legal, Ley N° 21.180 y Decreto 4/2021, como fuente primaria. Esta decisión metodológica no es incidental: al no existir un sistema implementado de trazabilidad mínima para municipios que parten desde papel (la literatura chilena disponible diagnostica la brecha, pero no deriva ni implementa el requisito [10, 11]), los requisitos no pueden tomarse de la literatura y deben construirse desde la norma, lo que convierte a esa derivación en parte de la contribución del trabajo.

La validación, en consecuencia, tampoco dispone de un referente contra el cual contrastarse. Se resuelve mediante instrumentos técnicos verificables como matriz de trazabilidad de requisitos, checklist de conformidad normativa y pruebas de carga, sin requerir el despliegue del sistema en producción. Los alcances y limitaciones de esta estrategia se discuten en el Capítulo 3.

Estructura del documento

El documento se organiza en cinco capítulos. El Capítulo 1 caracteriza el problema: el contexto operativo de los municipios de Grupo C, los actores involucrados, el árbol de causas y efectos, y el estado del arte de las soluciones disponibles en el mercado chileno. El Capítulo 2 establece el marco conceptual, fijando el lenguaje normativo que impone la Ley N° 21.180 y los conceptos técnicos sobre los que se construye la solución. El Capítulo 3 presenta la propuesta de solución: arquitectura, modelo de datos, diseño de la máquina de estados, estrategia de validación y limitaciones de alcance. El Capítulo 4 ejecuta los instrumentos de validación y contrasta sus resultados con cada uno de los cuatro objetivos específicos. Finalmente, el Capítulo 5 sintetiza los resultados, discute las limitaciones del trabajo y propone líneas de continuación.

CAPÍTULO 1
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Contexto

Chile cuenta con 345 municipalidades, la unidad estatal más cercana al ciudadano y el canal formal (vía OIRS, regulada desde 1990 [12]) para solicitudes, reclamos y trámites locales. La Ley N° 21.180 de Transformación Digital del Estado obliga a que estos procedimientos administrativos se sustenten en soporte electrónico, con tres componentes centrales: trámite electrónico, notificación electrónica y expediente electrónico, este último, la digitalización inmediata de todo documento en papel que ingresa, exigida por el artículo 19 bis de la Ley N° 19.880 en la redacción que le da la Ley N° 21.180 [1, 2]. Las disposiciones concretas que fundan cada componente se detallan en la Sección 2.2. El cumplimiento es gradual: el DFL N° 1 (2021) distribuye a los organismos obligados en tres grupos (A, B y C) y nomina expresamente a los municipios que integran cada uno [3]. La Ley N° 21.464 prorrogó posteriormente esos plazos e incorporó una fase de preparación, fijando diciembre de 2026 para el Grupo A y el 31 de diciembre de 2027 para los Grupos B y C, donde se ubican todos los municipios del país [4].

Esta memoria se sitúa en la línea de gobierno digital / sistemas de información para el sector público, un área activa de la Ingeniería Informática que estudia cómo tecnologías de gestión documental y de procesos permiten a organismos del Estado cumplir requisitos normativos con recursos limitados [6, 7].

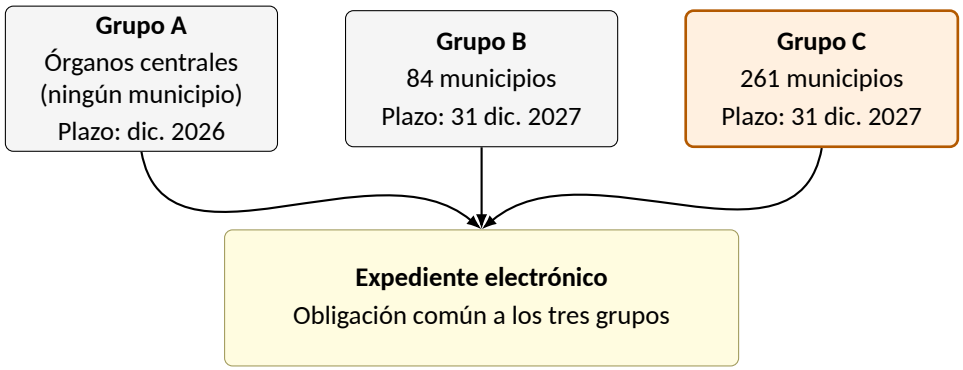


Figura 1: Grupos de gradualidad de la Ley N° 21.180

1.2 Delimitación del segmento objetivo

El segmento al que se dirige esta memoria son los municipios del **Grupo C** del DFL N° 1, y no una categoría socioeconómica genérica: es esa clasificación, y no otra, la que genera la obligación legal cuyo incumplimiento constituye el problema. El DFL no define los grupos por referencia a un índice, sino que **nomina expresamente** a cada municipio: 84 en el Grupo B junto a los gobiernos regionales y **261 en el Grupo C**, esto es, el 75,7 % de las 345 municipalidades del país [3]. Ningún municipio integra el Grupo A, reservado a ministerios, servicios públicos centrales, Contraloría, Fuerzas Armadas y de Orden y delegaciones presidenciales.

Conviene distinguir tres clasificaciones que suelen tratarse como intercambiables sin serlo. La **tipología municipal** agrupa a las 345 municipalidades en cinco categorías según características territoriales, socioeconómicas y demográficas. El **FIGEM**, Fondo de Incentivo al Mejoramiento de la Gestión Municipal, es el instrumento que aplica esa tipología para distribuir recursos por desempeño de gestión [13]. Y los **Grupos A, B y C** son un tercer instrumento, el de la gradualidad de la Ley N° 21.180. Al cotejar la nómina del DFL con los grupos de tipología de la Resolución FIGEM se verifica que ambas particiones coinciden en el número de municipios por grupo: los 84 del Grupo B corresponden a las tipologías 1 y 2 (47 y 37 municipios) y los 261 del Grupo C, a las tipologías 3, 4 y 5 (56, 96 y 109 respectivamente) [3, 13].

1.3 Casos de estudio sobre municipios para el planteamiento del problema

Hoy, un municipio de Grupo C típicamente gestiona sus solicitudes en papel, planillas de cálculo o formularios web, sin un expediente único que trace el caso de principio a fin. Para caracterizar cómo se opera efectivamente, se realizó un **relevamiento propio** de los canales de ingreso publicados por cuatro municipios de Grupo C, seleccionados de modo de cubrir las tres tipologías municipales que componen el grupo. Las direcciones consultadas, las fechas de consulta y los hallazgos de cada caso se documentan en la Tabla 18 del Anexo B.

El relevamiento muestra un mismo patrón con cuatro variantes. Ovalle (tipología 3) publica su OIRS como un formulario de contacto y una casilla de correo electrónico, y reserva sus trámites en línea a operaciones de pago (permisos de circulación, derechos de aseo y patentes comerciales) [14]. Angol (tipología 3) canaliza sus trámites por la plataforma estatal SIMPLE, con tres trámites publicados [15]. Zapallar (tipología 4) gestiona las solicitudes a su Dirección de Obras mediante instrucciones en la página web y para ciertos trámites en línea tiene una plataforma de pago [16]. Y María Pinto (tipología 5) recibe consultas, reclamos y sugerencias mediante un formulario de Google enlazado desde su sitio institucional [17]. En ninguno de los cuatro casos el ciudadano obtiene un número de caso con el cual consultar en línea el estado de su solicitud, y en ninguno el canal de ingreso deja constancia de las actuaciones posteriores sobre el caso.

Incluso en municipios con más recursos el problema no desaparece, solo cambia de forma: Valparaíso (Grupo B) opera al menos seis dominios distintos y no comunicados entre sí: sitio institucional en tecnología `.aspx`, dos dominios propios adicionales, portal de pagos, pla-

taforma estatal compartida y plataforma externa de obras, ninguno de los cuales comparte un identificador de caso con los demás [18]. Las soluciones disponibles en el mercado y las lecciones de diseño que de ellas se desprenden se analizan en la Sección 2.5; aquí interesa únicamente el punto de partida operativo.

1.4 Actores involucrados

- **Funcionarios municipales** (Direcciones de Obras, Secretaría Municipal, Oficinas de Partes): atienden el canal formal de información, reclamos y sugerencias que todo órgano de la Administración está obligado a mantener [12] y deben conducir cada procedimiento administrativo dentro de los plazos y formalidades que fija la Ley N° 19.880 [19]. A falta de un expediente único, la reconstrucción del historial de un caso queda a cargo de quien lo tramita; es una consecuencia directa del punto de partida documentado en el relevamiento (Tabla 18), no una afirmación medida en esta etapa.
- **Ciudadanos**: solicitan certificados, permisos y atención. La Ley N° 21.180 y el Decreto 4/2021 les reconocen el derecho a relacionarse con el órgano por medios electrónicos y a conocer el estado de tramitación de su procedimiento [1, 2]; en los cuatro municipios relevados ese estado no es consultable en línea.
- **Organismos fiscalizadores** (Contraloría General de la República, Consejo para la Transparencia): fiscalizan el cumplimiento de las obligaciones de transparencia y de procedimiento, para lo cual requieren evidencia de que un caso fue ingresado, tramitado y resuelto dentro de plazo [20, 21].
- **SUBDERE y Secretaría de Gobierno Digital**: la primera elabora la tipología municipal que ordena el financiamiento por desempeño de gestión [13]; la segunda opera las herramientas estatales de apoyo, SIMPLE [22] y Casilla Única [23], sobre las que se apoya la gradualidad definida en el DFL N° 1 [3].

1.5 Dificultades y magnitud del problema

La dificultad concreta es que los municipios relevados no cuentan con forma de generar un expediente electrónico trazable ni de demostrarlo ante una fiscalización. En cuanto a magnitud, la obligación alcanza a los 261 municipios que el DFL N° 1 nomina en el Grupo C en su artículo 5°, el 75,7 % de las 345 municipalidades del país (Sección 1.2); cuántos de ellos se encuentran hoy en la situación que el relevamiento documenta es algo que este trabajo no está en condiciones de establecer. La evidencia indirecta disponible sugiere además una brecha institucional real entre segmentos: el Índice de Transparencia Activa del CPLT 2025 reporta un cumplimiento promedio de 87,1 % en los municipios de tipología 1, los de mayores recursos, y de 79,0 % en los de tipología 5 [21]. Ponderando los promedios de las cinco tipologías por su número de municipios [13] el Grupo B alcanza 86,5 % y el Grupo C, 80,2 %. El indicador mide transparencia activa y no gestión de solicitudes ciudadanas ni la existencia de un expediente electrónico trazable; se usa solo como señal indirecta de que la capacidad

institucional decrece hacia los segmentos de menores recursos, no como una medición del problema aquí abordado. En la misma línea, el Índice de Madurez en Transformación Digital 2024 encontró que la mayoría de las instituciones evaluadas, incluidas municipalidades, permanece en etapas iniciales de digitalización [5]. Un hallazgo relevante en sí mismo: no existe hoy en Chile un instrumento oficial que mida el volumen de solicitudes ciudadanas ni la satisfacción con la gestión municipal, SINIM no lo incluye [24] y MESU no cubre municipios [25], lo que dificulta dimensionar el problema con cifras duras y es, a la vez, un argumento de por qué hace falta este trabajo.

A esta magnitud se suma que ninguna alternativa disponible resuelve hoy el problema para este segmento. La herramienta gratuita que ofrece el propio Estado no cubre el ciclo de vida documental, por declaración expresa de su diseño [26]; la oferta comercial del mercado municipal chileno llega empaquetada dentro de un ERP completo, lo que eleva la barrera de adopción para un presupuesto acotado; y los desarrollos propios exigen una inversión y una capacidad técnica interna fuera del alcance de un municipio de Grupo C. Las soluciones existentes y las lecciones de diseño que de ellas se extraen se examinan en detalle en la Sección 2.5.

En síntesis, el problema que aborda esta memoria es que **los 261 municipios de Grupo C están obligados a contar con un expediente electrónico trazable para sus solicitudes ciudadanas antes del 31 de diciembre de 2027**, y que los casos relevados no lo tienen ni disponen de los medios para acreditar ante una fiscalización que un caso fue ingresado, tramitado y resuelto dentro de plazo.

1.6 Consecuencias de no resolver el problema

La consecuencia normativa es directa y verificable: si un municipio de Grupo C no cuenta con expediente electrónico trazable antes del 31 de diciembre de 2027, queda en incumplimiento legal de la Ley N° 21.180, expuesto a fiscalización de Contraloría o del CPLT sin poder acreditar que un caso fue tramitado en plazo [1, 4].

A ello se suman costos operativos que la literatura regional documenta para la tramitación presencial en papel. El estudio del Banco Interamericano de Desarrollo sobre trámites en América Latina y el Caribe estima que completar un solo trámite toma en promedio 5,4 horas al ciudadano y que prestarlo por canal presencial le cuesta al Estado hasta cuarenta veces más que su equivalente digital [27]. En el mismo sentido, el Índice de Madurez en Transformación Digital 2024 sitúa a la mayoría de las instituciones evaluadas, incluidas municipalidades, en etapas iniciales de digitalización [5], y los modelos evolutivos de gobierno digital advierten que permanecer en esa etapa mantiene los procesos internos fuera de toda integración [6].

Dos consecuencias adicionales se plantean explícitamente como **hipótesis derivadas del relevamiento** y no como hechos medidos, por cuanto no existe instrumento oficial que las cuantifique a nivel municipal: el tiempo de un funcionario dedicado a reconstruir manual-

mente el historial de un caso, y la erosión de la confianza ciudadana asociada a la ausencia de un comprobante verificable del estado del trámite. Su verificación empírica requiere medición en un municipio en operación y queda propuesta como línea de continuación.

1.7 Árbol del problema

El árbol del problema sintetiza el análisis precedente en una estructura de tres niveles: las tres causas raíz que explican la situación actual de los municipios de Grupo C, el problema central que de ellas se deriva y los cinco efectos observables sobre ciudadanos y funcionarios. El Capítulo 3 toma cada causa raíz como un requisito de diseño directo de la solución propuesta.

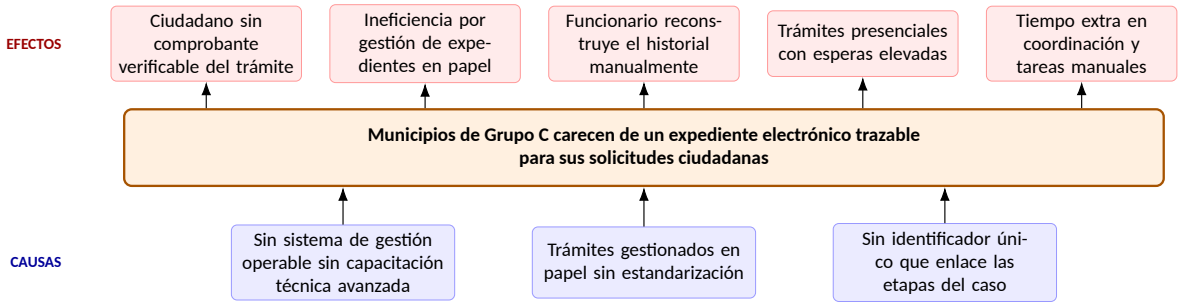


Figura 2: Árbol del problema

La Tabla 1 hace explícito ese vínculo: asocia cada causa raíz con el objetivo que la aborda, el componente del sistema que la materializa y el instrumento con el que se verifica el resultado. Dos precisiones sobre la lectura de la tabla. El primer objetivo específico es transversal y no ataca una causa raíz en particular: deriva desde el texto legal el catálogo de requisitos que las demás filas implementan; y el cuarto objetivo específico no ocupa una fila porque es, precisamente, el que aporta los instrumentos de la última columna. La causa raíz C1 se declara sin instrumento de validación en esta etapa: la operación sin personal técnico especializado es un criterio de diseño que atraviesa la propuesta, pero su verificación empírica requiere pruebas de usabilidad con funcionarios municipales que quedan fuera del alcance, según se detalla en el Capítulo 3.

Tabla 1: Correspondencia entre causas, objetivos, componentes e instrumentos

Causa raíz	**Objetivo**	**Componente del sistema**	**Instrumento de validación**
C1. Sin sistema de gestión operable sin capacitación técnica avanzada	Objetivo general	Plataforma SaaS multitenant, sin infraestructura propia; flujos guiados por formulario	Sin instrumento en esta etapa: criterio de diseño declarado y no medido
C2. Trámites gestionados en papel sin estandarización	OE2	Máquina de estados auditable sobre un modelo único de solicitud, común a todos los canales de ingreso	Contraste etapa del Decreto 4/2021 $\rightarrow$ estado del sistema, y checklist de conformidad normativa
C3. Sin identificador único que enlace las etapas del caso	OE3	Identificador `MUN-AAAA-NNNNN` por municipio y año, historial del expediente, auditoría de solo agregado y portal público de seguimiento	Evidencia de implementación por componente y matriz de trazabilidad de requisitos

1.8 El problema como problema complejo de ingeniería

Un problema de ingeniería es complejo cuando no existe un método estándar conocido para resolverlo y su solución exige integrar conocimiento de múltiples áreas bajo restricciones en tensión. El problema abordado en esta memoria satisface esta condición por cuatro razones que el análisis precedente pone en evidencia.

Ausencia de estándar previo de diseño e implementación (no de diagnóstico). La literatura de gobierno electrónico revisada se orienta predominantemente a organizaciones que ya cuentan con sistemas digitalizados como punto de partida: los modelos evolutivos por etapas tratan la digitalización de trámites individuales como un estado inicial ya superado [6] y los marcos de creación de valor público mediante tecnologías inteligentes presuponen una base tecnológica sobre la cual construir [7]. La literatura específica sobre gobiernos locales confirma el sesgo: la difusión del gobierno electrónico se concentró en los municipios de mayor tamaño y recursos [8], y las soluciones diseñadas para contextos urbanos no se trasladan sin más a territorios con menor capacidad administrativa [9]. Existe, eso sí, literatura chilena que **diagnostica** esta misma brecha bajo la misma ley: González [10] aplica un modelo de madurez de transformación digital a 27 municipios chilenos bajo la Ley N° 21.180 y encuentra un nivel promedio de 2,25 sobre 4, y González-Bustamante, Carvajal y González [11] miden un índice de gobierno electrónico sobre 188 municipios chilenos (71 % de la población nacional) e identifican sus determinantes. Lo que esta literatura no hace, y es lo que efectivamente falta, es diseñar e implementar un sistema acreditable para este segmento: no existe un diseño canónico de expediente electrónico mínimo viable, construido e

implementado, para municipios que operan desde papel puro; esta memoria debe derivar ese criterio desde el texto legal, lo que convierte la definición misma de la solución en parte del problema de ingeniería.

Acoplamiento normativo-técnico. El Decreto 4/2021 describe el expediente electrónico en términos de procedimiento administrativo: ingreso, clasificación, resolución, notificación, sin prescribir implementación técnica. Traducir esos conceptos legales a artefactos verificables (máquina de estados, colección de auditoría de solo agregado, identificador único por año y municipio) implica decisiones de diseño que no tienen respuesta en la norma y que deben justificarse técnicamente.

Restricciones múltiples en tensión. La solución debe ser simultáneamente: operable por funcionarios sin capacitación técnica, conforme a la Ley N° 21.180, aislada entre municipios (multi-tenancy), auditable por organismos fiscalizadores externos y viable económicamente como SaaS de bajo costo. Satisfacer cada restricción por separado es manejable; satisfacerlas en conjunto, sin sacrificar ninguna, constituye el núcleo del problema de ingeniería.

Validación sin referente. Dado que no existe un sistema implementado y acreditable, contra el cual contrastar la solución, para este contexto (más allá de los modelos de diagnóstico y madurez citados arriba, que miden la brecha pero no la resuelven), tampoco existe un referente de implementación. Los instrumentos de validación son de uso corriente en ingeniería de software: matriz de trazabilidad, checklist de conformidad, pruebas de carga, pero seleccionarlos, adaptarlos al objeto y, sobre todo, **derivar desde el texto legal los criterios de suficiencia** que cada uno debe verificar es parte del trabajo de ingeniería y no un paso previo resuelto por la literatura.

CAPÍTULO 2
MARCO CONCEPTUAL

2.1 Propósito de este marco

Antes de describir la solución, es necesario fijar un lenguaje común para tres capas de conceptos que se entrelazan en este trabajo: (i) el marco normativo que **obliga** a los municipios chilenos a digitalizarse y que define qué cuenta como cumplimiento; (ii) los conceptos de gestión pública municipal sobre los que ese marco normativo se apoya; y (iii) los fundamentos de ingeniería de software (arquitectura, persistencia, IA conversacional) sobre los que se construye la plataforma propuesta. Cerrando el capítulo, se revisan las soluciones ya existentes al mismo problema (estatales, propias y comerciales) y la literatura académica sobre gobierno digital, de modo que la propuesta de esta memoria quede delimitada frente a lo que ya se intentó, y no repita errores de diseño ya documentados.

2.2 Marco normativo: los conceptos que impone la Ley N° 21.180

La **Ley N° 21.180 de Transformación Digital del Estado** (2019) es el ancla legal de todo el problema abordado en esta memoria: exige que los procedimientos administrativos del Estado, incluidos los municipios, se sustenten en soporte electrónico [1]. La ley se apoya en tres conceptos técnicos que es indispensable distinguir, porque en la práctica suelen confundirse entre sí. Cada uno se ancla aquí a la disposición que lo establece: la Ley N° 21.180 opera sustituyendo e incorporando artículos en la **Ley N° 19.880** de bases de los procedimientos administrativos, de modo que la referencia precisa es a esa ley en el texto que aquella fijó, y al **Decreto 4/2021** que la reglamenta [1, 19, 2].

- **Trámite electrónico:** la posibilidad de que una persona inicie y siga un procedimiento administrativo íntegramente por vía digital, sin desplazarse. Su base es el artículo 18 de la Ley N° 19.880, que ordena que “todo el procedimiento administrativo deberá constar en un expediente electrónico” y que el ingreso de solicitudes, formularios o documentos se hará “a través de las plataformas de los órganos de la Administración del Estado”.
- **Notificación electrónica:** el mecanismo por el cual el organismo comunica formalmente un acto administrativo al interesado por vía digital, con valor legal equivalente a una notificación en papel. Lo regula el artículo 46 de la Ley N° 19.880, que las practica so-

bre un registro único de *domicilios digitales únicos*, y los artículos 22 y 24 del Decreto 4/2021, que definen ese domicilio y la Casilla Única. La equivalencia con el papel proviene del principio de *equivalencia funcional* del artículo 16 bis.

- **Expediente electrónico:** el conjunto ordenado y trazable de todos los documentos, actuaciones y resoluciones de un procedimiento, con digitalización inmediata de cualquier documento en papel que ingrese. Lo definen el artículo 18 de la Ley N° 19.880 y los artículos 4° y 8° del Decreto 4/2021: el expediente "contendrá un registro actualizado de todas las actuaciones de toda especie que se verifiquen en el procedimiento administrativo, de acuerdo con cada etapa", asentadas "con expresión de la fecha y hora de su recepción, respetando su orden de ingreso". El artículo 16 bis lo refuerza con el principio de *fidelidad*: las actuaciones "se registrarán y conservarán íntegramente y en orden sucesivo en el expediente electrónico".

Esa última exigencia es el fundamento normativo del que se derivan, en el Capítulo 4, los requisitos de identificador único, trazabilidad y auditoría.

Este tercer concepto de expediente electronico es el que la propuesta de esta memoria adopta como núcleo del diseño: un **Ticket** trazable con historial, responsable, adjuntos y auditoría de solo agregado no es más que una implementación concreta de la noción legal de expediente electrónico, aplicada al canal más común de interacción ciudadano-municipio.

El **Decreto 4/2021** reglamenta cómo deben expresarse electrónicamente estos procedimientos y es la base normativa directa del expediente electrónico [2].

2.2.1 Gradualidad: Grupos A, B y C, y clasificación FIGEM

No todos los organismos deben cumplir al mismo ritmo. El **DFL N°1 (2021)** definió tres grupos de gradualidad: Grupo A (ministerios, servicios públicos centrales, Contraloría, Fuerzas Armadas y de Orden y delegaciones presidenciales), Grupo B (gobiernos regionales y 84 municipios) y Grupo C (los 261 municipios restantes) [3]. Es importante notar que el DFL no define los grupos por referencia a un índice de gestión, sino que **nomina expresamente** a cada municipio en su artículo 5°.

La **tipología municipal** es un instrumento distinto: agrupa a las 345 municipalidades en cinco categorías según características territoriales, socioeconómicas y demográficas, y es la que aplica el **FIGEM** para distribuir recursos por desempeño [13]. Las clasificaciones no son la misma, pero sus particiones coinciden en el número de municipios por grupo: el Grupo B corresponde a las tipologías 1 y 2 (47 y 37 municipios) y el Grupo C, a las tipologías 3, 4 y 5 (56, 96 y 109 municipios).

2.2.2 Notificación electrónica en la práctica: Domicilio Digital Único y Casilla Única

El **Domicilio Digital Único (DDU)** es el concepto legal de dirección electrónica única de una persona ante el Estado; **Casilla Única** es la plataforma que lo implementa, administrada por la Secretaría de Gobierno Digital [23]. Su uso obligatorio para notificaciones recién rige para los municipios de Grupo B y C desde el 1 de enero de 2027 [28]. Es un concepto relevante para el marco porque impone un límite temporal claro: hoy la mayoría de los municipios chilenos aún no opera bajo este mecanismo, lo que deja una ventana de tiempo en la que una solución como la propuesta puede complementar (y eventualmente integrarse con) este futuro canal oficial.

2.3 Conceptos de gestión pública municipal

OIRS (Oficina de Información, Reclamos y Sugerencias): canal formal que toda entidad pública chilena está obligada a mantener para solicitudes, reclamos, sugerencias y consultas ciudadanas, con origen en el Decreto Supremo N° 680 de 1990 [12]. Es, precisamente, el canal que la Ley 21.180 exige llevar a formato electrónico, y por lo tanto el objeto de estudio directo de esta memoria.

ERP (Enterprise Resource Planning) municipal: sistema de gestión integral que centraliza en una sola base de datos procesos administrativos (finanzas, RR.HH., permisos, patentes, rentas). Es un concepto relevante porque los proveedores del mercado municipal chileno venden el módulo de atención ciudadana **empaquetado dentro de este tipo de sistema**, no como producto independiente, un patrón de mercado que se retoma en la sección 2.5 al analizar la competencia.

SLA (Service Level Agreement) / plazo de respuesta: compromiso formal de tiempo máximo de resolución para una solicitud. Es un concepto de gestión, no solo técnico, porque su ausencia o presencia en un sistema municipal es un indicador directo de madurez en la atención ciudadana; se retoma en el estado del arte, donde de los casos revisados solo Vitacura publica un SLA explícito (10 días hábiles), y en el Capítulo 4, donde el compromiso de plazo publicado al ciudadano es uno de los indicadores de la comparación de escenarios.

Indicadores oficiales de medición: el **Índice de Transparencia Activa (ITA)** del Consejo para la Transparencia [21], el **Sistema Nacional de Información Municipal (SINIM)** de SUBDERE [24], la **Medición de Satisfacción Usuaria (MESU)** del Ministerio de Hacienda [25] y el **Índice de Madurez en Transformación Digital (IMTD)**, estudio no gubernamental de la Universidad de Chile [5], son los cuatro instrumentos de medición existentes en Chile relacionados con desempeño institucional digital. Se definen aquí porque ninguno mide específicamente satisfacción ciudadana ni volumen de solicitudes a nivel municipal. Ese vacío de medición tiene dos consecuencias directas sobre el diseño de esta memoria. La primera es una **limitación asumida**: no existe una línea base oficial contra la cual comparar la situación previa y la resultante, de modo que el trabajo no puede demostrar mejora frente a un indicador sectorial. La segunda es metodológica: al no haber un estándar de desempeño previo del cual tomar

los requisitos, estos se derivan del propio texto legal, la Ley N° 21.180 y el Decreto 4/2021, y la validación se resuelve con instrumentos verificables de forma independiente por un tercero con acceso al código en lugar de con una comparación contra una referencia inexistente, según se desarrolla en el Capítulo 4.

2.4 Fundamentos tecnológicos de la solución propuesta

Esta sección define los conceptos de ingeniería de software sobre los que se construye la plataforma propuesta, cuyo nombre es **Munia**.

SaaS (Software as a Service) y arquitectura multi-tenant: modelo en el que un mismo despliegue de software sirve a múltiples organizaciones clientes ("tenants") de forma aislada lógicamente, en lugar de instalar una instancia por cliente. Es el modelo de negocio y arquitectura elegido para que un solo despliegue pueda escalar a muchos municipios de Grupo C sin multiplicar el costo marginal de operación por comuna: cada municipio adicional no agrega una instancia que instalar, actualizar y respaldar, sino un conjunto de documentos dentro del mismo despliegue. Ese argumento de costo marginal es el que sostiene la decisión. Como antecedente análogo existe un estudio sobre la migración de arquitectura monolítica a multi-tenant en micro y pequeñas empresas del nororiente peruano [29]; sus límites deben declararse: es otro dominio, sin obligación legal de cumplimiento, y su instrumento (el *System Usability Scale*) mide usabilidad percibida y no costo de operación. El aislamiento de datos por `municipalityId` en cada documento, con una capa de reglas de seguridad como segunda línea de defensa, es la instanciación concreta de este concepto en la solución.

Arquitectura REST y patrón Controller-Service-Repository: estilo arquitectónico cliente-servidor sobre HTTP [30], organizado en tres capas (recepción de solicitudes, lógica de negocio y acceso a datos) que separa responsabilidades y facilita pruebas y mantenimiento. Fowler [31] cataloga cada capa por separado: la recepción de solicitudes corresponde a los patrones *Page Controller* y *Front Controller*; la lógica de negocio, a *Service Layer*; y el acceso a datos, a *Repository*. La combinación de las tres con el nombre "Controller-Service-Repository" es una denominación de uso habitual en la práctica, no un patrón catalogado como tal. Es la estructura sobre la que se organiza el backend de la solución.

Persistencia orientada a documentos (NoSQL): modelo de base de datos que almacena información en documentos semiestructurados en lugar de tablas relacionales rígidas. Se ajusta bien a un expediente electrónico, cuyo historial y adjuntos son de cardinalidad variable y se leen siempre junto al caso que los origina, y cede a cambio garantías que el modelo relacional ofrece por construcción: integridad referencial declarativa, reunión de entidades mediante *joins* y transacciones amplias entre varios registros. La elección entre ambos modelos es una decisión arquitectónica central de este trabajo y se discute frente a su alternativa en el Capítulo 3.

Autenticación federada / OIDC: protocolo estándar mediante el cual un tercero confiable (un *Identity Provider*) valida la identidad de una persona en nombre de una aplicación [32].

Es el concepto detrás de **ClaveÚnica**, el IdP del Estado de Chile. El esquema de identificación ciudadana implementado y validado en esta etapa es el de número de solicitud más RUT, y la integración con ClaveÚnica es una **proyección**, no una funcionalidad existente. Depende además de una gestión de habilitación ante la Secretaría de Gobierno Digital que excede el alcance del trabajo, y por eso figura entre las exclusiones declaradas del Capítulo 3.

Chatbot conversacional con RAG (Retrieval-Augmented Generation) sobre un LLM: técnica que combina un modelo de lenguaje de gran tamaño con un mecanismo de recuperación de información desde una base de conocimiento propia (FAQs, procedimientos del municipio), de modo que las respuestas del asistente se fundamenten en contenido verificado del organismo y no solo en el conocimiento general del modelo. La adopción de RAG en el sector público responde directamente al problema de las alucinaciones en asistentes conversacionales gubernamentales [33], y ya existen despliegues de gran escala en agencias públicas [34]. Este es el fundamento conceptual del bot conversacional de la solución, que crea solicitudes automáticamente a partir de la conversación con el ciudadano. Es uno de los componentes del requisito de canales digitales de atención ciudadana derivado de la Ley N° 21.180 (Capítulo 4), y atiende la parte del objetivo general que no resuelve un formulario web, la del ciudadano que no sabe qué trámite necesita o no puede completar un formulario por sí solo, sin la cual el canal digital reproduce la barrera de entrada que pretende eliminar.

Trazabilidad y auditoría de solo agregado: principio de diseño según el cual toda acción relevante sobre una solicitud queda registrada, y el registro admite únicamente la incorporación de nuevas entradas, sin modificación ni borrado de las existentes [35]. Conviene precisar el alcance del término, porque admite grados: en este trabajo la propiedad se obtiene negando esas operaciones en las reglas de acceso del motor de datos, lo que la hace efectiva frente a cualquier cliente de la aplicación, no frente a quien administre la base. La inmutabilidad en sentido fuerte, que resistiría también a ese administrador, exige encadenamiento criptográfico [36] o almacenamiento de escritura única, como en el caso de *blockchain* [37], y no forma parte de esta implementación.

2.5 Estado del arte: soluciones ya existentes al mismo problema

Delimitar el problema exige revisar qué se ha intentado antes, para no repetir soluciones ya insuficientes ni reproducir errores de diseño ya documentados.

Método de la revisión. Esta sección declara su procedimiento por la misma razón que lo hace el relevamiento del Anexo B: su conclusión, que ninguna de las soluciones disponibles cubre de forma acreditable el ciclo documental completo, solo es evaluable si se sabe qué se buscó y dónde. Se revisaron tres fuentes: la oferta del propio Estado a los municipios, es decir las plataformas que la Secretaría de Gobierno Digital pone a disposición; los desarrollos municipales chilenos difundidos públicamente, buscados sobre sitios institucionales, prensa especializada en gobierno digital y comunicaciones de las propias municipalidades; y la oferta comercial dirigida al mercado municipal chileno, identificada a partir de los sitios de los proveedores y de sus propias declaraciones de segmento objetivo. El criterio de inclusión

fue que la solución atendiera solicitudes o trámites ciudadanos en municipios chilenos y que existiera documentación pública que permitiera describirla; el de exclusión, que se tratara de sistemas puramente transaccionales de pago sin gestión de casos. Se buscó deliberadamente al menos un caso que cubriera el ciclo completo de ingreso, expediente, trazabilidad y notificación, y no se encontró documentación pública que acreditara esa cobertura en ninguno. La revisión se realizó entre agosto y septiembre de 2026 y su alcance es la oferta observable públicamente: no incluye sistemas internos no documentados, que por definición no son verificables desde fuera.

SIMPLE, la herramienta estatal: la Secretaría de Gobierno Digital ofrece SIMPLE, una plataforma gratuita tipo SaaS para modelar formularios y flujos de aprobación sin programar, de adopción transversal en municipios de Grupo B y C [22] (Angol, del segmento objetivo de esta memoria, publica sobre ella su portal de trámites [15]). El dato refuerza el vacío en lugar de debilitarlo: la herramienta estatal sí se está usando y aun así no resuelve el expediente electrónico, porque el propio Estado declara su límite: *"SIMPLE no es un gestor documental ni un mantenedor de datos"* [26]. Es decir, la herramienta modela la puerta de entrada de un trámite, pero no resuelve el ciclo de vida completo del expediente electrónico que es exactamente la brecha que esta memoria busca cerrar para el caso específico de solicitudes ciudadanas.

Casos municipales estudiados, que ilustran distintos niveles de madurez dentro del mismo Grupo B/C:

- *Providencia (SIAV)*: sistema propio con autenticación local (no integrada a ClaveÚnica) y sin SLA público [38].
- *Vitacura (UNE):* el único caso con SLA explícito (10 días hábiles [39]) y con volumen medible ($\sim$29.500 tickets en 2025 [40]); aun así, a inicios de 2026 el municipio con más recursos de la muestra abrió una licitación para fusionar dos sistemas propios fragmentados en uno solo [40], lo que evidencia que ni siquiera los municipios mejor dotados han resuelto el problema de fondo.
- *Valparaíso:* el caso más ilustrativo de fragmentación, con seis dominios distintos publicando puntos de entrada a trámites, ninguno de los cuales comparte un identificador de caso único entre sí [18]. Es la evidencia empírica más clara de por qué un identificador único de extremo a extremo (ingreso $\rightarrow$ asignación $\rightarrow$ resolución $\rightarrow$ notificación) es un requisito de diseño no negociable, y no un detalle técnico secundario.
- *Huechuraba ("Patente en un día")*: plataforma desarrollada internamente y liberada como código abierto para que otros municipios la repliquen, ya adoptada por Puerto Montt y Paine [41]. Demuestra que existe necesidad real por soluciones replicables entre municipios, más allá de una sola comuna.
- *Ñuñoa*, *María Pinto y Zapallar:* representan, respectivamente, un desarrollo propio de alcance limitado [42], y dos municipios de Grupo C cuyos canales de ingreso delegan la

recepción de solicitudes en herramientas genéricas, sin expediente asociado. La lección de diseño es que el problema no se resuelve eligiendo mejor el formulario de entrada: mientras el canal no emita un identificador de caso, cambiarlo solo desplaza el punto de pérdida de trazabilidad.

Proveedores comerciales: CAS-Chile vende "Vecino Digital" como módulo dentro de un ERP municipal más amplio, bajo contrato por comuna [43], reproduciendo el patrón de empaquetamiento descrito en la sección 2.3, que eleva la barrera de entrada para un municipio de Grupo C con presupuesto acotado. **Tu Municipio** es el competidor más cercano en segmento objetivo: un SaaS chileno que declara explícitamente apuntar al 59,4 % de comunas rurales, semiurbanas y de bajo desarrollo digital [44], es decir, el mismo Grupo C al que apunta esta memoria, y que su propio sitio acredita con una lista pública de más de 35 municipios cliente en 10 regiones [44], lo que obliga a que la propuesta de valor de la solución quede diferenciada frente a esta oferta existente y no presentada como si el mercado estuviera vacío. **IUSLEAD** es un tercer competidor relevante y, en el canal, el más cercano al diferenciador que esta memoria más enfatiza: automatiza atención ciudadana municipal mediante inteligencia artificial sobre WhatsApp, con el mismo flujo de clasificación, ticket y derivación que el Capítulo 3 describe para el bot conversacional de Munia [45]. Su documentación pública enumera "auditoría, roles y trazabilidad" entre sus capacidades, pero, igual que CAS-Chile y Tu Municipio, no publica el detalle de implementación de ese ciclo (identificador de caso, mecánica del registro de auditoría, procedimiento de cierre y archivo) que permita a un tercero acreditar su cobertura [45].

Diferenciación frente a la oferta existente. Que exista un SaaS chileno apuntando al mismo segmento obliga a responder qué aporta esta memoria. Es de otro orden: ninguno de los dos proveedores comerciales publica documentación que permita **acreditar** su cobertura del ciclo documental, en particular de la trazabilidad completa del trámite y del registro de auditoría de solo agregado, los requisitos R3 y R4 del Capítulo 4, de modo que un municipio que deba demostrar conformidad ante fiscalización no puede establecer, con la evidencia pública disponible, si la herramienta que contrató se la provee. La propuesta de esta memoria se diferencia entonces por lo que somete a verificación y no por lo que ofrece: un conjunto de requisitos derivados de disposiciones concretas, un instrumento por requisito y evidencia reproducible contra el código. Lo que se sostiene es la imposibilidad de acreditar la cobertura ajena con la evidencia disponible, no su ausencia demostrada, y la diferenciación es metodológica antes que funcional.

Conviene aplicar ese mismo criterio a este trabajo, porque de otro modo se estaría exigiendo a la oferta existente una publicidad que la propia solución no ofrece: los repositorios de Munia también son privados (Anexo C) y su cobertura tampoco es verificable por un tercero cualquiera desde fuentes públicas. La diferencia no está en la apertura del código sino en el alcance de lo que se declara: esta memoria expone el catálogo de requisitos, la disposición que funda cada uno y el medio con que se verificó, de modo que la afirmación de cobertura queda sujeta a comprobación por quien obtenga acceso al código, que se concede a la comisión evaluadora. La opacidad sobre el ciclo documental es, en el mercado municipal chileno,

la regla antes que la excepción, y este trabajo no está fuera de ella.

2.6 Literatura académica sobre gobierno digital

Modelos de evolución del gobierno digital. Layne y Lee [46] proponen el modelo fundacional de cuatro etapas del que derivan la mayoría de los modelos evolutivos posteriores. Janowski [6] propone, sobre esa base, un modelo evolutivo en etapas, de la digitalización de trámites individuales hacia la contextualización de políticas públicas, que permite ubicar a los municipios chilenos de Grupo C en una etapa temprana, centrada aún en trámites puntuales más que en la integración de servicios. Criado y Gil-Garcia [7] argumentan que la creación de valor público mediante tecnología no depende solo de la herramienta, sino de la estrategia organizacional que la acompaña, lo que respalda por qué esta memoria no se limita a proponer software, sino que también debe considerar el proceso de adopción por parte del municipio. Gascó-Hernández [47], en un balance de tres décadas de transformación digital en gobiernos locales, advierte que el problema persistente no ha sido la disponibilidad de tecnología sino la capacidad institucional para sostenerla, observación que ordena directamente el criterio de diseño de esta propuesta: el sistema debe exigir del municipio la menor capacidad técnica posible. Esta lectura internacional se apoya, para la región, en el trabajo institucional de CEPAL/ILPES: Concha y Naser [48] describen la transformación del gobierno electrónico en la gestión pública latinoamericana como un proceso que depende, igual que en la literatura anglófona citada arriba, de capacidad institucional y no solo de disponibilidad tecnológica aunque, a diferencia de Epstein [8] y Su et al. [9], este documento de referencia no trata específicamente el nivel municipal ni la brecha digital ciudadana, que siguen sin un antecedente regional directo en esta revisión.

Gobierno digital local y registro documental. La literatura específica sobre gobiernos locales muestra que la brecha que motiva esta memoria no es una anomalía chilena. Epstein [8], analizando dos décadas de difusión del gobierno electrónico entre municipios estadounidenses, documenta que la adopción se concentró sistemáticamente en los gobiernos de mayor tamaño y recursos, y que los pequeños quedaron rezagados de forma persistente y no transitoria. Su y colaboradores [9] estudian el gobierno electrónico rural y muestran que las soluciones diseñadas para contextos urbanos no se trasladan sin más a territorios con menor capacidad administrativa (justamente el perfil de las tipologías 4 y 5, que concentran a la mayoría del Grupo C). En el plano del objeto de estudio, Meijer [49] sostiene que la gestión de registros electrónicos no es un asunto instrumental sino una condición de la rendición de cuentas pública: sin un registro que acredite qué se hizo, cuándo y por quién, la responsabilidad administrativa no es verificable. Es el fundamento conceptual del énfasis de esta memoria en la auditabilidad del expediente, y no solo en su digitalización. Anshari y Lim [50], por su parte, documentan cómo el uso masivo de *smartphones* habilita nuevas formas de prestación de servicios públicos, antecedente directo del enfoque multicanal de la solución propuesta.

En el plano local, un análisis publicado en el blog especializado de Alejandro Barros plantea abiertamente la duda de si el Estado logrará cumplir el plazo de la Ley 21.180 para 2027 [51].

La observación refuerza la pertinencia temporal de esta memoria: se desarrolla en la ventana de tiempo en la que la brecha de cumplimiento todavía es amplia y accionable.

2.7 Síntesis: relación de estos conceptos con la memoria

Los conceptos revisados en este capítulo cumplen tres funciones respecto de la solución propuesta:

1. **Delimitan el problema.** El marco normativo (sección 2.2) fija qué cuenta como "resuelto" (expediente electrónico completo, no solo un formulario de entrada) y a quién se dirige la solución (los 261 municipios del Grupo C).
2. **Fijan el lenguaje técnico de la propuesta.** Los conceptos de la sección 2.4 (SaaS multitenant, patrón Controller-Service-Repository, RAG) no son incidentales: cada uno responde a una restricción identificada en las secciones 2.2 o 2.3 (costo marginal por municipio, necesidad de trazabilidad, necesidad de un canal conversacional de bajo costo operativo).
3. **Evitan repetir errores ya documentados.** El estado del arte (sección 2.5) deja tres lecciones concretas que la solución debe tomar como requisitos, no como opciones de diseño: (a) un identificador único de extremo a extremo es indispensable (b) una herramienta que solo modela el formulario de entrada, sin resolver el ciclo de vida documental completo, dejará sin resolver el problema de fondo, como el propio Estado reconoce respecto de SIMPLE; y (c) vender el módulo ciudadano empaquetado dentro de un ERP completo eleva artificialmente la barrera de adopción para el segmento de menores recursos, que es precisamente el segmento prioritario según la gradualidad legal.

CAPÍTULO 3
PROPUESTA DE SOLUCIÓN

3.1 Fundamento de la solución

El árbol del problema (Figura 2) identifica tres causas raíz que explican por qué los municipios de Grupo C no cuentan con un expediente electrónico trazable para sus solicitudes ciudadanas: (i) ausencia de un sistema de gestión operable por personal sin capacitación técnica avanzada, (ii) trámites gestionados en papel sin estandarización, y (iii) inexistencia de un identificador único que enlace las etapas de un caso. La solución propuesta, una plataforma SaaS denominada Munia, se diseñó tomando cada una de estas causas como un requisito de diseño, de modo que la arquitectura responde directamente a ese diagnóstico y no a una noción genérica de "digitalización".

Causa 1 — falta de personal capacitado. Se opta por un modelo SaaS multi-tenant: el municipio no administra infraestructura ni requiere personal de TI dedicado. La operación diaria ocurre a través de una interfaz web con roles predefinidos, bandejas de trabajo guiadas y reglas de asignación configurables desde la interfaz, sin necesidad de programar ni de intervenir directamente en la base de datos.

Causa 2 — trámites en papel sin estandarización. Todo canal de ingreso converge en un mismo modelo de datos, el ticket, con categorías y subcategorías estandarizadas por municipio. Conviene distinguir dos nociones que después se cuentan distinto: el **canal registrable**, que es cualquier vía de la que el municipio quiera dejar constancia (presencial, teléfono, correo, formulario web, aplicación o bot) y que el sistema admite por catálogo configurable sin cambios de código; y el **canal con interfaz propia**, que es aquel para el que la plataforma provee el punto de ingreso. Los primeros son abiertos; los segundos, en esta etapa, son tres, y son los que se contabilizan en la comparación de escenarios del Capítulo 4. Dentro del sistema, esto sustituye la heterogeneidad de planillas y canales sueltos por un esquema único y verificable; que un municipio efectivamente migre su operación a ese esquema es una cuestión de adopción, no de arquitectura, y se trata como tal en la Sección 3.11.

Causa 3 — ausencia de identificador único. Cada solicitud recibe un número de caso atómico e irrepetible (formato `MUN-AAAA-NNNNN`) desde el momento del ingreso, y ese identificador conecta de forma auditable las etapas de clasificación, asignación, resolución y notificación, tal como exige el flujo modelado en la Figura 4.

No existe, implementado y acreditable, un estándar de "expediente electrónico mínimo viable" pensado para municipios que parten desde papel puro y sin sistemas digitalizados previos [7, 8, 9]; la literatura chilena disponible diagnostica esta misma brecha bajo la Ley N° 21.180 [10, 11], pero no diseña ni implementa el sistema que la cierre. La contribución de esta propuesta de solución no es solo construir un sistema, sino formalizar mediante la matriz de trazabilidad de requisitos y el checklist de conformidad descritos en la sección 3.10, qué constituye trazabilidad suficiente para ese contexto específico.

3.2 Descripción general de la solución: Munia

Munia es una plataforma multi-tenant para municipalidades chilenas que centraliza las interacciones ciudadanas que llegan por múltiples canales y las convierte en un ticket con trazabilidad completa: responsable, SLA, historial, adjuntos y auditoría de solo agregado. El sistema reconoce dos audiencias con acceso diferenciado:

- **Funcionarios municipales** — operan el sistema desde un dashboard completo, con inicio de sesión mediante Firebase Auth[1] y roles asignados por municipio (email/contraseña, con segundo factor disponible para roles privilegiados).
- **Ciudadanos** — realizan seguimiento público de su solicitud mediante número de caso y RUT, sin necesidad de crear una cuenta. Existe además una integración mock con el estándar OIDC de Clave Única, implementada como base para la certificación en Fase 4.

En un árbol del problema la intervención se hace sobre las causas y los efectos ceden como consecuencia; ninguna funcionalidad actúa directamente sobre un efecto. La Tabla 2 muestra, por eso, **cómo se manifiesta ante el usuario** la resolución de las tres causas raíz: qué deja de ocurrir, y gracias a qué funcionalidad, en cada uno de los cinco efectos identificados en el árbol (Figura 2).

[1] `https://firebase.google.com/docs/auth`

Tabla 2: Efectos del problema y funcionalidades de Munia

Efecto del árbol del problema	**Respuesta de Munia**
Ciudadano sin comprobante verificable de que su solicitud fue ingresada y resuelta	Portal público de seguimiento (`/seguimiento`) + comprobante en PDF descargable desde ese mismo portal
Ineficiencia administrativa por gestión de expedientes en papel	Bandeja unificada de tickets con filtros por estado, urgencia y dirección; reglas de asignación automática
El funcionario reconstruye manualmente el historial de un caso	Historial por ticket y registro de auditoría (`audit`) generados automáticamente en cada transición
Ciudadanos realizan trámites presencialmente con esperas elevadas	Canales digitales de ingreso: formulario web y bot conversacional con respuestas automatizadas (RAG)
Funcionarios destinan tiempo extra a coordinación y tareas manuales repetitivas	Notificaciones en tiempo real, dashboard de cumplimiento de SLA, reasignación y derivación masiva de tickets

3.3 Arquitectura de la solución

La plataforma se organiza en dos repositorios (un backend de Cloud Functions (Express + TypeScript) y un frontend en React) desplegados sobre infraestructura serverless de Firebase. La Tabla 3 resume el stack tecnológico utilizado.

Tabla 3: Stack tecnológico de Munia

Capa	Componente	Tecnología	Referencia
Backend	Runtime / lenguaje	Node.js 20 · TypeScript 5.6 (strict)	https://nodejs.org https://www.typescriptlang.org
Backend	Framework HTTP	Express 4.21 sobre Firebase Cloud Functions (1st gen)	https://expressjs.com https://firebase.google.com/docs/functions
Backend	Validación de entrada	Zod	https://zod.dev
Backend	IA / bot conversacional	Google GenAI (Gemini) — embeddings y chat	https://ai.google.dev
Backend	Geolocalización	Turf.js + geocodificación Nominatim (OpenStreetMap)	https://turfjs.org https://nominatim.org
Datos	Base de datos	Cloud Firestore (NoSQL, multi-tenant)	https://firebase.google.com/docs/firestore
Datos	Archivos adjuntos	Firebase Storage con URLs firmadas	https://firebase.google.com/docs/storage
Identidad	Autenticación de funcionarios	Firebase Auth + custom claims (rol, municipio)	https://firebase.google.com/docs/auth
Frontend	UI / bundler	React 18 + Vite 7 + Tailwind CSS 3	https://react.dev https://vite.dev https://tailwindcss.com
Frontend	Estado global	Zustand 5	https://zustand.docs.pmnd.rs
Frontend	Visualización	Recharts (gráficos) · react-leaflet (mapa de sectores)	https://recharts.org https://react-leaflet.js.org

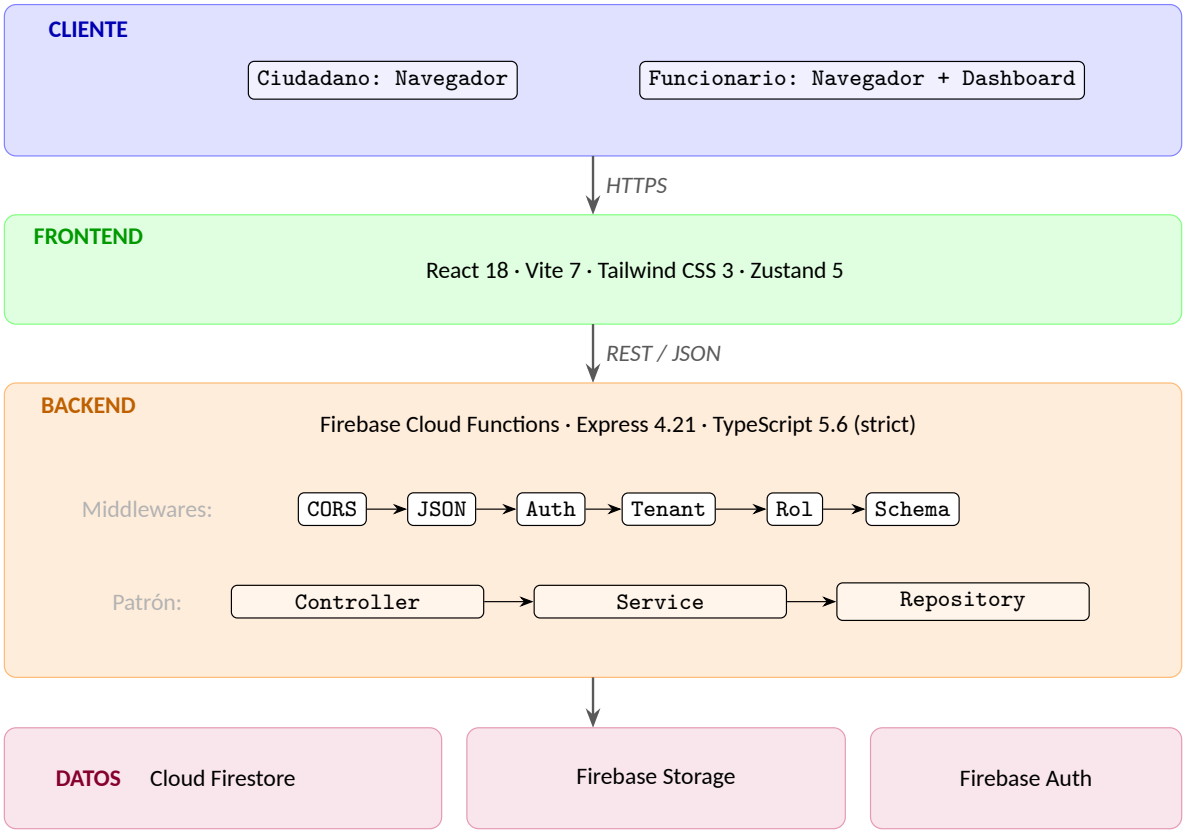


Figura 3: Arquitectura general de la solución

Cada solicitud HTTP hacia la API pasa por un pipeline de *middleware* (CORS → parseo JSON → autenticación → resolución de tenant → verificación de rol → validación de esquema) antes de llegar al controlador correspondiente. Internamente se aplica el patrón Controller / Service / Repository: el controlador recibe la petición HTTP, el *service* concentra la lógica de negocio (cálculo de SLA, generación de historial y auditoría) y el *repository* es la única capa que interactúa con Firestore, mediante una clase base genérica con operaciones CRUD y paginación por cursor.

Multi-tenancy. Se adopta aislamiento lógico por campo discriminador y no una instancia por cliente, que es el patrón cuyo efecto sobre el costo de operación documenta la literatura de arquitecturas multi-tenant [29]. El aislamiento entre municipios es lógico, no físico: todos comparten la misma base Firestore, pero cada documento incluye el campo `municipalityId`. Ese campo se hace cumplir por dos vías de acceso con controles independientes. Por la API, el *middleware* de tenant extrae el municipio del token de sesión, no de la petición, y lo fuerza en cada consulta; además, un helper compartido (`assertSameTenant`) impide el acceso cruzado entre municipios: las operaciones de lectura devuelven `404` ante un intento cross-tenant (para no revelar la existencia de un identificador ajeno) y las de escritura devuelven `403`. Por acceso directo del cliente a Firestore, las reglas de seguridad deniegan toda escritura y limitan la lectura a los documentos cuyo `municipalityId` coinci-

de con el del token del usuario (en las notificaciones, a las propias); toda colección no listada queda denegada por defecto. Un error de autorización en la API no abre la lectura directa, ni una regla mal escrita abre la API. Si se compromete la sesión de un funcionario, el daño queda acotado a su municipio y a su rol, porque el municipio se deriva del token y no de lo que envíe el cliente. El riesgo residual es el compromiso del *backend*: accede a Firestore con credenciales de administración, que no pasan por las reglas de seguridad, y es quien asigna los *claims* del token, de modo que un error de autorización en él o su compromiso expondría los datos de todos los municipios a la vez. Es la contrapartida aceptada del aislamiento lógico frente a una instancia por cliente. Por tratarse de un riesgo conocido, su reducción queda como línea de trabajo prioritaria, empezando por los respaldos programados de Firestore, hoy ausentes según las limitaciones de esta etapa, que permitirían recuperar los datos ante un compromiso destructivo.

3.4 Alcance funcional del sistema

El sistema se organiza en 29 módulos distribuidos en cuatro de las seis fases de desarrollo (F1, F2, F4 y F5; F0 son tareas de arranque sin módulos propios y F3 no introduce módulos nuevos). Los módulos de la Fase 1 (M1–M14) constituyen el núcleo implementado en esta etapa y son el foco de esta memoria; los módulos de fases posteriores quedan explícitamente fuera del alcance actual, conforme a la sección 3.11. La Tabla 4 detalla los módulos del núcleo con su descripción y estado al cierre de esta etapa. El catálogo completo de módulos y casos de uso (M1–M29, UC-01–UC-78) se incluye en el Anexo A.

Tabla 4: Módulos del núcleo del sistema (F1) y su estado

Módulo	**Descripción**	**Estado**
M1 — Portal Ciudadano	Crear solicitud, consultar estado por código y RUT, expediente en PDF, registro de consentimiento del titular (UC-07)	Parcial
M2 — Autenticación	Inicio de sesión de funcionarios (Firebase Auth + custom claims), MFA para roles privilegiados, cierre por inactividad	Completo
M3 — Gestión de Tickets	Bandeja unificada, creación manual, reasignación, recepción presencial con acuse en papel, digitalización al expediente	Parcial
M4 — Bandeja Funcionario	Vista filtrada de tickets asignados al funcionario autenticado	Completo
M5 — Bandeja Jefatura	Vista de todos los tickets de una dirección	Completo
M6 — Gestión Interna	Acciones masivas: filtros avanzados, reasignación y derivación en lote	Completo

continúa en la página siguiente

Tabla 4 — *continuación*

Módulo	**Descripción**	**Estado**
M7 — Dashboard y Auditoría	Métricas en tiempo real, mapa de calor, consulta del audit log; exportación CSV/PDF e informe OIRS/CPLT	Parcial
M8 — Notificaciones	Notificaciones en tiempo real a funcionarios; notificaciones salientes al ciudadano (acuse, cambio de estado, resolución)	Parcial
M9 — Config. Categorías	CRUD de categorías y subcategorías por municipio	Completo
M10 — Config. Asignación	CRUD de reglas de auto-asignación por subcategoría	Completo
M11 — Config. Usuarios	Gestión de usuarios municipales y asignación de roles	Completo
M12 — Config. Direcciones	CRUD de direcciones/departamentos del municipio	Completo
M13 — Config. SLA	Configuración de tiempos de respuesta por urgencia y cálculo de fecha límite	Completo
M14 — Config. Catálogos	CRUD de estados, prioridades y tipos de solicitud	Completo

De los módulos de Fase 2 (M15–M23), el bot conversacional (M16, motor RAG sobre Gemini) y las automatizaciones de geocodificación y alertas de SLA (M18) están implementados. El motor BPMN de trámites (M23), el canal WhatsApp (M21) y el módulo de facturación (M22) quedan fuera del alcance de esta etapa. Los módulos de Fases 3 a 5 (M24–M29) corresponden a integraciones con organismos del Estado (ClaveÚnica, FES/FEA, Registro Civil, Portal ARCOP) y se diferencian del núcleo en que su calendario depende de aprobaciones externas, no del desarrollo.

3.5 Modelo de trazabilidad: el expediente electrónico como máquina de estados

El núcleo normativo de la solución es el flujo de trazabilidad (ingreso $\rightarrow$ clasificación $\rightarrow$ asignación $\rightarrow$ resolución $\rightarrow$ notificación) implementado como una máquina de estados auditable conforme al Decreto 4/2021 [2], que regula la forma en que los procedimientos administrativos deben expresarse a través de medios electrónicos.

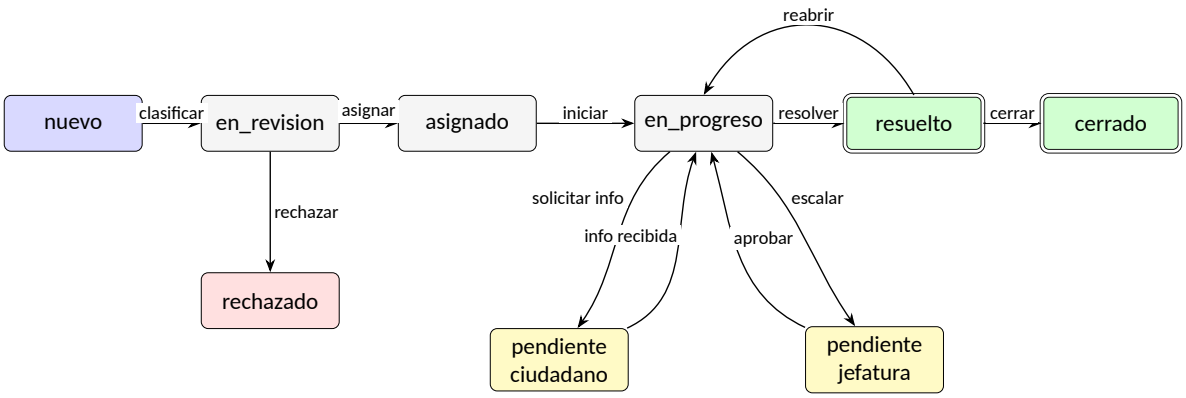


Figura 4: Flujo de trazabilidad del expediente electrónico

Como se muestra en la Figura 4, cada ticket transita por un conjunto acotado de estados: `nuevo`, `en_revision`, `asignado`, `en_progreso`, `pendiente_ciudadano`, `pendiente_jefatura`, `resuelto`, `cerrado` y `rechazado`, y cada cambio de estado, de responsable o de cualquier campo relevante genera dos registros independientes:

- **Historial del ticket** (subcolección `tickets/*/historial`): guarda la acción realizada (`creado`, `cambio_estado`, `reasignado`, `adjunto`, `comentario`, `nota_interna`, entre otras), el detalle de los campos modificados (valor anterior y nuevo), quién la realizó y el timestamp.
- **Registro de auditoría** (colección `audit`, de solo lectura para roles `administrador` y `super_admin` del propio municipio, sin regla de borrado): registra qué entidad fue afectada, la acción (`create`, `update`, `delete`), el diff completo de cambios y el actor responsable.

El identificador único de caso exigido por el árbol del problema se implementa mediante un contador atómico por municipio y año (colección `counters`), que genera números con formato `MUN-AAAA-NNNNN` y se reinicia cada año calendario. Este número es el enlace verificable entre todas las etapas del expediente, desde el ingreso hasta el cierre del caso y el aviso por correo al ciudadano.

3.6 Modelo de datos

El modelo de datos traduce el catálogo de requisitos del expediente electrónico en colecciones, documentos y relaciones verificables. La Tabla 5 resume las colecciones principales de Firestore.

Tabla 5: Colecciones principales del modelo de datos

Colección	Tipo	Descripción
`tickets`	Transaccional	Solicitudes ciudadanas (el expediente electrónico propiamente tal)
`tickets/*/historial`	Subcolección	Historial de cambios de cada ticket
`municipalities`	Configuración	Datos del municipio (tenant)
`users`	Transaccional	Usuarios funcionarios, sincronizados con Firebase Auth
`categorias/subcategorias`	Configuración	Taxonomía de tipos de solicitud por municipio
`reglas_asignacion`	Configuración	Reglas de asignación automática (una regla activa por subcategoría)
`configuracion`	Configuración	Parámetros de SLA por urgencia y umbrales de alerta, por municipio
`notificaciones`	Transaccional	Notificaciones en tiempo real para funcionarios
`counters`	Sistema	Contadores atómicos para el número de caso, por municipio y año
`audit`	Sistema	Registro de auditoría de solo agregado

El documento `tickets` incluye, entre otros, los campos `municipalityId` (tenant), `numero` (identificador único), `canalOrigen`, `categoriaId`/`subcategoriaId`, `urgencia` (alta/media/baja), `estado`, los datos del ciudadano, la descripción del caso, el responsable actual, el objeto `sla` (horas límite, fecha límite y estado de vencimiento) y la lista de adjuntos. Los nombres de categoría, dirección y responsable se desnormalizan intencionalmente en el propio ticket, de modo que el historial conserva el nombre vigente al momento de cada evento aunque el catálogo cambie posteriormente.

Cómputo del plazo de atención. El objeto `sla` merece una precisión, porque toca directamente la conformidad normativa. El plazo se expresa en horas por urgencia (24, 48 o 72) pero **no se computa en días corridos**: la fecha límite se calcula avanzando día a día y descontando sábados, domingos y feriados chilenos, obtenidos de un servicio público de calendario y resueltos en la zona horaria de Santiago. El criterio es el del artículo 25 de la Ley N° 19.880, que establece que “los plazos de días establecidos en esta ley son de días hábiles, entendiéndose que son inhábiles los días sábados, los domingos y los festivos” [19], y que el sistema aplica también a su compromiso interno de servicio para no producir dos calendarios distintos sobre el mismo caso.

3.6.1 Modelo documental frente a modelo relacional

La elección de una base orientada a documentos no es incidental y merece justificarse frente a su alternativa, porque condiciona cómo se representa el expediente y qué garantías hay que reponer por otros medios.

Qué gana el expediente. Las tres piezas que componen un expediente electrónico (historial de actuaciones, adjuntos y datos del caso) tienen cardinalidad variable y se consultan casi siempre juntas: quien abre un caso quiere ver su estado y todo lo que le ocurrió. La subcolección `tickets/*/historial` mantiene esa unidad sin necesidad de reunir tablas, y permite que cada entrada registre un conjunto de campos distinto (una reasignación no registra lo mismo que un cambio de estado o que una notificación) sin obligar a un esquema común ni a columnas vacías. Además, el modelo acompaña la evolución normativa: incorporar un nuevo tipo de actuación al expediente no exige migrar una tabla.

Qué se cede. Tres garantías que un motor relacional ofrece por construcción. Primero, la integridad referencial declarativa: nada en el motor impide que un documento apunte a una categoría inexistente. Segundo, la reunión de entidades mediante *joins*, que aquí debe resolverse con lecturas sucesivas o con desnormalización controlada. Tercero, las transacciones amplias entre varios registros, disponibles en Firestore solo dentro de límites acotados.

Cómo se compensa. La ausencia de esquema impuesto por el motor se sustituye por validación de esquema en la capa de entrada, aplicada en el mismo pipeline de *middleware* que resuelve el tenant y el rol, de modo que ningún documento se escribe sin haber sido validado. La necesidad de atomicidad se concentra en el único punto donde es imprescindible, la asignación del folio `MUN-AAAA-NNNNN`, que no admite duplicados ni saltos, y se resuelve con una transacción sobre la colección `counters`. La integridad del registro histórico se obtiene por diseño y no por restricción del motor: la colección `audit` no tiene regla de borrado ni de actualización, de modo que el registro es *append-only* y ningún cambio posterior puede reescribir lo ya ocurrido, que es exactamente lo que exige la trazabilidad del Decreto 4/2021. Y la consistencia entre municipios se garantiza por el campo `municipalityId` forzado en cada consulta, con las reglas de seguridad como segunda línea de defensa.

Por qué pesa el costo operacional. La restricción que define el problema (municipios sin infraestructura propia ni personal técnico especializado) también aplica a la base de datos. Una instancia relacional administrada reintroduce decisiones de dimensionamiento, respaldo y actualización que alguien debe tomar y sostener; una base gestionada sin servidor que administrar las elimina del alcance operativo del municipio y del costo marginal por comuna.

El límite. El modelo relacional sería preferible si el dominio exigiera consultas analíticas complejas que cruzaran muchas entidades como reportes agregados por categoría, unidad y período. Es una limitación real y consistente con el estado del sistema: la exportación de reportes figura entre los elementos pendientes y su implementación exigirá, muy probablemente, una capa analítica separada del almacenamiento transaccional.

3.7 Módulo de expediente electrónico y comprobante verificable

Este módulo implementa el expediente electrónico con registro de auditoría exportable. Sus componentes son:

- **Adjuntos con acceso controlado.** Los documentos digitalizados que ingresan a un caso (PDF, PNG, JPG, hasta 10 MB) se sanitizan por nombre y se validan cruzando extensión y tipo MIME antes de almacenarse en Firebase Storage. La descarga se realiza mediante URLs firmadas con vigencia de 15 minutos; no existe acceso público directo a los archivos.
- **Comprobante verificable para el ciudadano.** Desde el portal público de seguimiento el ciudadano puede descargar en PDF el estado completo de su solicitud, documento que puede regenerar cuantas veces necesite y que le permite acreditar ante el municipio que su solicitud fue efectivamente ingresada. A diferencia de un archivo emitido una sola vez al ingreso, este comprobante es reverificable en todo momento contra el número de caso y el RUT del solicitante.
- **Registro de auditoría exportable.** La colección `audit` concentra un diff completo de cada cambio (entidad, campo, valor anterior y nuevo, actor y timestamp), pensado como base para exportación en CSV/PDF conforme a lo comprometido en los objetivos específicos.
- **Portal ciudadano de seguimiento.** Ruta pública `/seguimiento/:numero`, que expone el estado y el historial del caso filtrando las notas internas del funcionario, accesible mediante número de caso y RUT.

3.8 Autenticación, roles y seguridad multi-tenant

El acceso de funcionarios se resuelve con Firebase Auth y claims personalizados (`rol` y `municipio`) incorporados al token de sesión. La plataforma define cinco roles, detallados en la Tabla 6.

Tabla 6: Roles del sistema

Rol	Descripción	Permisos clave
`super_admin`	Super Administrador	Acceso total, incluida operación sobre cualquier municipio
`administrador`	Administrador Municipal	Gestión de equipo, reportes, reasignación, categorías y catálogos
`jefatura`	Jefatura de Dirección	Gestión de equipo, reasignación de casos críticos, cierre de tickets
`funcionario`	Funcionario	Creación, edición y resolución de tickets; gestión de adjuntos
`operador`	Operador de Canal	Creación y visualización de tickets (también rol utilizado por el bot)

La seguridad se organiza en capas: HTTPS obligatorio, verificación del token en cada solicitud protegida (sin roles por defecto ante datos faltantes), aislamiento por tenant forzado en cada consulta, verificación de rol por endpoint, lista blanca de CORS, reglas de seguridad de Firestore que deniegan toda escritura desde el cliente y limitan la lectura al municipio del token, acceso a Storage exclusivamente mediante URLs firmadas, validación de esquema en cada entrada y sanitización de nombres de archivo. Esta arquitectura fue sometida a dos revisiones de seguridad, ambas realizadas con *Claude Code* (modelo Claude Opus) y la *skill* de revisión de código *Open Code Review*[2]. La primera, una **autoevaluación** dirigida por el autor en agosto de 2026, organizada en pasadas sucesivas sobre superficies distintas del sistema y con clasificación de hallazgos por severidad, identificó 33 hallazgos: 27 resueltos, uno descartado como falso positivo y 5 pendientes. La segunda, una **revisión de código independiente** realizada en septiembre de 2026 sobre el mismo *commit* que esta memoria cita como referencia, encontró 15 hallazgos adicionales. Catorce de los quince fueron corregidos y verificados con 348 pruebas automatizadas entre ambos repositorios (213 en el *backend*, incluidas 27 nuevas para las rutas corregidas; 135 en el *frontend*, sin cambios; ambas suites re-ejecutadas de forma independiente por el autor de esta memoria antes de comprometer la remediación en el repositorio); un pendiente de agosto (límite de tasa en el endpoint público de seguimiento) sigue parcialmente abierto. Ninguno de los hallazgos de ambas revisiones compromete el modelo de datos, la máquina de estados ni el registro de auditoría de solo agregado que son el objeto central de esta memoria. La metodología completa, el detalle de hallazgos de ambas fases y el estado final de cada pendiente se documentan en el Anexo D.

Para el ciudadano, el seguimiento público opera hoy sin autenticación real (número de caso + RUT). Como base para una futura integración con Clave Única, se implementó un flujo OIDC completo en modo mock (Authorization Code, con protección CSRF mediante state aleatorio y sin uso de iframe), de manera que el frontend y el *middleware* ciudadano no requerirán cambios cuando se complete el registro ante la Secretaría de Gobierno Digital.

[2] `https://github.com/alibaba/open-code-review`

3.9 Cumplimiento normativo

La Tabla 7 contrasta los requisitos derivados de la Ley N° 21.180 [1] y el Decreto 4/2021 [2] con el estado de implementación de Munia al cierre de esta etapa. Es el mismo catálogo de requisitos que el Capítulo 4 somete a verificación detallada: aquí se presenta el estado, allá la evidencia que lo respalda. La columna de disposición de la Tabla 7 indica el artículo del que se deriva cada requisito; el texto citado y el detalle de la evidencia se presentan en el Capítulo 4.

Tabla 7: Estado de cumplimiento de los requisitos normativos

ID	Requisito	Disposición	Estado
R1	Expediente electrónico accesible por el ciudadano	D. 4/2021, art. 12	Implementado — portal público de seguimiento
R2	Identificador único e irrepetible de caso	D. 4/2021, arts. 8° y 49	Implementado — contador atómico por municipio y año
R3	Trazabilidad completa del trámite	D. 4/2021, arts. 6° ii) y 8°	Implementado — historial por ticket, estados y registro de auditoría
R4	Registro de auditoría de solo agregado	D. 4/2021, art. 49 inc. 3°	Implementado — colección sin regla de borrado ni actualización
R5	Comprobante verificable de ingreso para el ciudadano	D. 4/2021, art. 13	Implementado — descargable desde el portal de seguimiento
R6	Digitalización de documentos en papel al ingreso	Ley 19.880, art. 19 bis; D. 4/2021, art. 11	Implementado — adjuntos validados y almacenados con acceso firmado
R7	Canales digitales de atención ciudadana	D. 4/2021, art. 6° iii); Ley 19.880, art. 18	Parcial — formulario web y bot conversacional operativos; WhatsApp pendiente de habilitación externa
R8	Notificación electrónica al ciudadano	Ley 19.880, art. 46; D. 4/2021, arts. 22 y 24	Parcial — correo saliente operativo; vía legalmente vinculante diferida a Casilla Única
R9	Autenticidad e integridad del expediente	D. 4/2021, arts. 47 y 49	Implementado — autenticación con *claims*, aislamiento por tenant y diff completo en auditoría en todos los canales, tras la remediación de septiembre de 2026 documentada en el Capítulo 4 y el Anexo D
R10	Accesibilidad del servicio digital	D. 4/2021, art. 47, remitido al estándar de la N.T. del art. 57	Fuera del alcance de esta etapa — sin auditoría formal de accesibilidad

El diseño también se hizo cargo, de forma anticipada, de dos cuerpos normativos conexos que entran en vigencia en el horizonte de este trabajo: la Ley N° 21.719 de Protección de Datos Personales, vigente desde diciembre de 2026 [52], y la Ley N° 21.663, Marco de Ciberseguridad, cuyas disposiciones pertinentes rigen desde marzo de 2025 [53]. Del primer cuerpo normativo, la plataforma solicita el alcance mínimo de datos en la integración *mock* de Clave Única, evita persistir información sensible en el cliente y **registra el consentimiento**

del titular en los dos canales de ingreso: en el flujo ciudadano mediante aceptación explícita con vigencia de cuatro años, y en el flujo presencial mediante un documento firmado que el funcionario adjunta al expediente y sin el cual la solicitud no puede registrarse. Queda pendiente el **flujo de revocación del consentimiento**, que la ley exige y que se aborda antes de su entrada en vigencia. Del segundo, se cumple con HTTPS obligatorio y tokens de sesión firmados de vida corta; quedan pendientes el procedimiento documentado de notificación de incidentes en 72 horas ante el CSIRT Nacional y mecanismos de limitación de tasa (*rate limiting*).

3.10 Estrategia de validación

La validación de esta solución no depende de un despliegue en producción en un municipio real, sino de tres instrumentos técnicos verificables de forma independiente, cada uno alineado con los objetivos específicos enunciados en la Introducción:

- **Matriz de trazabilidad de requisitos.** Vincula cada requisito levantado desde la Ley N° 21.180 y el Decreto 4/2021 con el o los componentes del sistema que lo implementan (modelo de datos, máquina de estados, módulo de auditoría), permitiendo verificar cobertura de forma sistemática.
- **Checklist de conformidad normativa (Ley N° 21.180).** Evalúa, ítem por ítem, el cumplimiento del componente de expediente electrónico exigido por la ley, en la misma lógica de la Tabla 7, pero llevada a un nivel de detalle verificable por un tercero con acceso al código.
- **Prueba de carga.** Evalúa el comportamiento del pipeline de creación y consulta de tickets, y de procesos programados como el detector de vencimientos de SLA (que opera por lotes de 500 documentos con un tope de 20 lotes por corrida), bajo un volumen de solicitudes representativo de un municipio de Grupo C.

Los tres instrumentos son suficientes porque cubren las tres preguntas que la ausencia de un estándar de referencia deja abiertas: si cada requisito derivado de la norma tiene un componente que lo implementa (matriz de trazabilidad), si ese componente satisface el criterio legal y no solo el funcional (checklist de conformidad), y si el sistema sostiene el volumen de un municipio del segmento objetivo (prueba de carga). Su ejecución y sus resultados se presentan en el Capítulo 4, que además incorpora dos validaciones complementarias: una comparación contra la situación observada en el relevamiento, y un instrumento de juicio de expertos ajenos al desarrollo sobre el diseño y el plan de implementación, cuyos resultados no se incluyen en esta memoria.

3.11 Alcance y limitaciones

Quedan explícitamente fuera del alcance de esta etapa: la certificación ante Clave Única (gestión externa estimada en 3 a 5 meses), la habilitación de WhatsApp Business API (gestión externa estimada en 4 a 8 semanas), la integración con el Archivo Nacional Electrónico central y la exportación de reportes en formato OIRS/CPLT. Ninguna de estas limitaciones impide alcanzar el objetivo general (generar un expediente electrónico trazable sin requerir infraestructura propia), porque todas recaen sobre integraciones externas, sobre el despliegue en operación o sobre requisitos conexos, y no sobre los componentes que producen y acreditan el expediente.

Riesgo de que estos hitos externos se retrasen. Las estimaciones de gestión de arriba asumen que ClaveÚnica, WhatsApp Business y Casilla Única avanzan en el plazo declarado por cada organismo. Conviene no tratar eso como un supuesto neutro: esta misma memoria documenta, en la Introducción, que la propia Ley N° 21.180 postergó una vez sus plazos de cumplimiento vía la Ley N° 21.464 [4], de diciembre de 2026 a diciembre de 2027 para los Grupos B y C. Si Casilla Única o la certificación de ClaveÚnica se retrasaran de forma similar, las funcionalidades que dependen de ellas (R7 y R8, Tabla 7) permanecerían en su estado “Parcial” actual sin que ello dependa de ningún trabajo adicional del sistema: el canal de correo y el formulario web seguirían operando como vía de facto mientras la vía legalmente vinculante siga diferida. El núcleo del expediente electrónico (R1–R6, R9) no depende de estas integraciones y no se ve afectado por su eventual retraso.

Alcance parcial de cuatro módulos del núcleo. Cuatro módulos del núcleo figuran como parciales en la Tabla 4 y conviene decir de cada uno qué falta. En M3, la recepción presencial genera e imprime el documento de consentimiento pero no un acuse formal de ingreso (UC-19); en M7 es la exportación del propio audit log a CSV/PDF (UC-25) y de reportes en formato OIRS/CPLT (UC-26, UC-27); en M8, la notificación con valor legal; y en M1, el único cuyo pendiente no se deducía de esta sección, son tres elementos que no afectan al expediente en sí: la vista de expediente completo para el ciudadano (UC-04) muestra el historial pero no los adjuntos, la descarga de un adjunto individual desde el portal público (UC-06) queda pendiente, y el flujo de revocación del consentimiento (UC-08), descrito más abajo, tampoco está implementado. La autenticación del ciudadano mediante Clave Única es, en cambio, una integración de Fase 4 (UC-65) fuera del denominador de 45 ítems de esta etapa, hoy resuelta provisionalmente con número de solicitud más RUT. Esto explica por qué R1 y R5, que dependen de M1, figuran como cubiertos en el Capítulo 4: ninguno de los tres pendientes afecta la publicación del expediente ni la emisión del comprobante, que son las funciones que esos dos requisitos exigen.

Cómputo del plazo de servicio. Según se describe al detallar el modelo de datos, la fecha límite del SLA se calcula en días hábiles con feriados chilenos. Sus dos límites son la conversión directa de horas a días hábiles, que impide representar plazos legales expresados en horas, como los del artículo 24 de la Ley N° 19.880, y la degradación a solo fines de semana si la fuente de feriados no responde al momento de crear la solicitud.

Notificación electrónica en sentido legal. La plataforma notifica al ciudadano por correo electrónico el ingreso, los cambios de estado y la resolución de su solicitud. La notificación electrónica con valor legal equivalente al papel, en cambio, exige el uso del Domicilio Digital Único a través de la plataforma Casilla Única, cuyo uso obligatorio para los municipios de Grupos B y C rige recién desde el 1 de enero de 2027 [28]. Su integración es, por tanto, una dependencia externa del mismo tipo que Clave Única y WhatsApp Business API: queda como trabajo futuro, habilitado por ese hito normativo. Esta memoria cubre el componente de *expediente electrónico* de la Ley N° 21.180 y la notificación al ciudadano por canal propio, no el componente de *notificación electrónica* en su acepción legal estricta.

Operación sin personal técnico especializado. Que la plataforma sea operable por funcionarios municipales sin capacitación técnica avanzada es un criterio de diseño que atraviesa toda la propuesta (responde a la causa raíz 1 del árbol del problema) y se materializa en decisiones concretas: el modelo SaaS elimina la administración de infraestructura, y los flujos de trabajo se resuelven mediante formularios y transiciones guiadas en lugar de configuración libre. No obstante, esta etapa **no lo mide**: los instrumentos de validación empleados son de naturaleza técnica y documental, y no incluyen pruebas de usabilidad con funcionarios municipales. Su verificación empírica queda propuesta como línea de continuación.

Brecha digital del lado ciudadano. El mismo estándar de evidencia que este trabajo aplica a la capacidad institucional municipal (Índice de Transparencia Activa, IMTD, tipologías FIGEM) no se aplicó al lado ciudadano: esta memoria no dispone de datos sobre penetración de internet, conectividad o alfabetización digital en comunas de tipologías 3, 4 y 5 (el Grupo C completo), que son estructuralmente distintas de las grandes urbes. El canal presencial en papel se mantiene deliberadamente como canal registrable y funciona como puerta de entrada equitativa para quien no pueda o no quiera usar el portal web o el bot conversacional; esto mitiga, pero no resuelve, el riesgo de que el diseño asuma implícitamente un nivel de acceso digital ciudadano que el segmento objetivo no necesariamente tiene. El diseño del portal ciudadano no fue evaluado con criterios de accesibilidad digital para poblaciones con bajo capital digital (adultos mayores, zonas con conectividad intermitente); queda como línea de continuación.

Techo de escritura concurrente. La emisión del folio se resuelve con una transacción sobre un documento único por municipio, lo que garantiza la unicidad del identificador pero concentra la escritura en un punto. La prueba de carga del Capítulo 4 observa contención ya a **ocho** creaciones simultáneas cuando el volumen de operaciones es alto, y hasta veinticinco cuando no lo es (la frontera exacta no es reproducible entre corridas, y allí se explica por qué), mientras que la concurrencia esperada del segmento objetivo, derivada por la ley de Little a partir de su tasa de llegada, es del orden de 10^{-4} solicitudes simultáneas en promedio (la ley de Little, $L = \lambda W$, donde L es el número medio de solicitudes en curso, λ la tasa de llegada y W el tiempo de servicio, entrega una cantidad de solicitudes y no una tasa: equivale a una solicitud abierta en uno de cada diez mil instantes de observación): más de cuatro órdenes de magnitud por debajo. El techo existe, pero no limita el caso de uso. La mitigación conocida, distribuir el contador en fragmentos y consolidarlos al leer, queda como trabajo

futuro y solo se justifica si el sistema se extiende a municipios de mayor volumen.

Accesibilidad del servicio digital. El sistema no ha sido sometido a una auditoría formal de accesibilidad, y por tanto no puede declararse conforme al estándar que fije la Norma Técnica del artículo 57 del Decreto 4/2021, a la que el artículo 47 remite. La accesibilidad de los servicios digitales del Estado es exigible y materia de fiscalización, de modo que la omisión se declara aquí como límite de esta etapa y no como requisito descartado: figura en el catálogo de requisitos (R10) con ese estado explícito, tanto en la Tabla 7 como en la validación del Capítulo 4.

Revocación del consentimiento. El registro del consentimiento del titular está implementado en los dos canales de ingreso, pero el flujo que le permite revocarlo no. Es una obligación de la Ley N° 21.719 [52], cuya entrada en vigencia en diciembre de 2026 fija el plazo para resolverlo; queda fuera del alcance de esta etapa y comprometido para la siguiente.

Despliegue en un municipio piloto. La validación de esta etapa se resuelve con instrumentos técnicos verificables por terceros y no requiere que el sistema opere en un municipio real. Un despliegue piloto permitiría obtener lo que ningún instrumento oficial provee hoy: volumen real de solicitudes, tiempos efectivos de tramitación y satisfacción de los usuarios, según se discute en el Capítulo 2, pero depende de un convenio con una municipalidad que no está comprometido a la fecha de esta entrega. Queda, por tanto, como línea de continuación y no como parte del alcance validado.

Entre la deuda técnica identificada y documentada se cuentan: el uso de Cloud Functions de primera generación en la API HTTP, que es justamente donde el arranque en frío se traduce en latencia percibida por el usuario, los procesos programados y los *triggers* de Firestore ya corren sobre la segunda generación, un motor de RAG que mantiene los embeddings en memoria (con límite práctico cercano a 500 preguntas frecuentes por municipio), y la ausencia de respaldos automáticos programados de Firestore. Estos elementos se documentan como trabajo futuro y no invalidan la validación técnica propuesta en la sección 3.10.

CAPÍTULO 4
VALIDACIÓN DE LA SOLUCIÓN

Este capítulo demuestra el cumplimiento de los cuatro objetivos específicos enunciados en la Introducción. Las dos primeras subsecciones validan los objetivos de análisis e implementación; la tercera ejecuta los tres instrumentos técnicos comprometidos en el OE4; la cuarta contrasta la situación observada en el relevamiento con la situación resultante, cubriendo el tipo de validación por mejora de proceso; y la quinta presenta el instrumento de validación por juicio de expertos, cuyos resultados no se incluyen en esta memoria.

Los instrumentos empleados (matriz de trazabilidad de requisitos, checklist de conformidad normativa y pruebas de carga) son de uso corriente en ingeniería de software. Lo que este capítulo aporta como trabajo propio no es el instrumento, sino **el criterio de suficiencia que cada uno verifica**: al no existir un estándar previo de trazabilidad mínima para municipios que parten desde papel, los diez requisitos que ordenan toda la validación se derivaron del texto legal en la Tabla 8, y son ellos los que definen qué cuenta como cumplimiento verificado. Para que esa derivación sea rastreable y no una atribución, cada requisito se ancla a la disposición concreta que lo funda y no al cuerpo normativo en bloque.

4.1 OE1 — Requisitos normativos del expediente electrónico

El OE1 comprometía derivar los requisitos mínimos del expediente electrónico a partir del análisis de la Ley N° 21.180 y el Decreto 4/2021, complementado con el relevamiento del estado del arte. La Tabla 8 sistematiza los requisitos obtenidos, su fuente normativa y el componente del sistema que los implementa.

Tabla 8: Requisitos mínimos del expediente electrónico

ID	Requisito	Disposición que lo funda	Componente
R1	Expediente electrónico accesible por el ciudadano	D. 4/2021, art. 12: los interesados podrán conocer "de forma permanente, el estado de tramitación"	Portal público `/seguimiento`
R2	Identificador único e irrepetible de caso	D. 4/2021, art. 8°: el expediente debe "individualizar el procedimiento" y asentar los documentos "con expresión de la fecha y hora de su recepción, respetando su orden de ingreso"; art. 49	Contador atómico `counters`, formato `MUN-AAAA-NNNNN`
R3	Trazabilidad completa del trámite (cada cambio de estado, responsable o campo relevante)	D. 4/2021, art. 6° ii): la plataforma debe "registrar la trazabilidad de su tramitación"; art. 8°: "registro actualizado de todas las actuaciones"	Subcolección `tickets/*/historial`
R4	Registro de auditoría de solo agregado	D. 4/2021, art. 49 inc. 3°: "registro de todo acceso a los expedientes electrónicos …con la trazabilidad del funcionario o persona interesada, fecha y hora"	Colección `audit` (sin regla de borrado)
R5	Comprobante verificable de ingreso para el ciudadano	D. 4/2021, art. 13: "copia autorizada aquella generada por la plataforma …que cuente con un medio de verificación de autenticidad"	PDF descargable desde el portal público de seguimiento
R6	Digitalización de documentos en papel al momento del ingreso	Ley N° 19.880, art. 19 bis (texto fijado por la Ley N° 21.180); D. 4/2021, art. 11 (cotejo de autenticidad de la copia digitalizada)	Adjuntos con validación MIME + Firebase Storage con URLs firmadas
R7	Canales digitales de atención ciudadana	D. 4/2021, art. 6° iii); Ley N° 19.880, art. 18 inc. 4°: el ingreso se hará "a través de las plataformas de los órganos"	Formulario web + bot conversacional (RAG)
R8	Notificación electrónica al ciudadano	Ley N° 19.880, art. 46; D. 4/2021, arts. 22 y 24 (Domicilio Digital Único y Casilla Única)	Correo saliente al ciudadano: acuse de ingreso, cambio de estado y resolución. *Vía legal (Casilla Única) diferida*
R9	Autenticidad e integridad del expediente	D. 4/2021, art. 47 inc. 2° (autenticación del interesado) y art. 49 inc. 2° (registro de la identidad de quien ingresa cada antecedente)	Firebase Auth + custom claims + diff completo en `audit`
R10	Accesibilidad del servicio digital	D. 4/2021, art. 47, remitido al estándar de la Norma Técnica del art. 57	*Fuera del alcance de esta etapa: sin auditoría formal de accesibilidad*

El proceso de derivación identificó 10 requisitos, nueve de ellos funcionales y con implementación en la versión actual del sistema. El décimo, R10, se incorpora al catálogo pese a quedar fuera del alcance de esta etapa: la accesibilidad de los servicios digitales del Estado es exigible y materia de fiscalización, de modo que corresponde declararla con su estado explícito y no omitirla del instrumento de validación. Es el único requisito del catálogo cuyo estándar la norma no fija por sí misma: el artículo 47 del Decreto 4/2021 impone condiciones de accesibilidad (acceso permanente de los interesados y autenticación) y remite el estándar concreto a la Norma Técnica del artículo 57. El nivel WCAG exigible se determina, por tanto, en esa norma derivada y no en el reglamento, razón adicional para declarar R10 sin auditoría formal.

El estado del arte (Sección 2.5) no encontró ninguna solución existente cuya cobertura del conjunto completo de estos requisitos pueda acreditarse para municipios de Grupo C. La distinción es importante y conviene formularla con precisión: la documentación pública de SIMPLE declara que la herramienta "no es un gestor documental ni un mantenedor de datos" [26], lo que la sitúa fuera del ciclo documental que exigen R2–R5, pero no describe sus mecanismos internos; y las soluciones comerciales (Vecino Digital, Tu Municipio) no publican documentación que permita verificar su cobertura de R3 y R4. En ambos casos lo que se afirma es la **imposibilidad de acreditar** la cobertura con la evidencia disponible, no su ausencia demostrada. Este vacío confirma que la derivación desde el texto legal era el único camino disponible para este segmento.

4.2 OE2 y OE3 — Ciclo de trazabilidad e implementación del expediente

4.2.1 OE2: Ciclo de trazabilidad como máquina de estados

El OE2 comprometía diseñar e implementar el ciclo completo de trazabilidad (ingreso, clasificación, asignación, resolución y notificación) como una máquina de estados auditable conforme al Decreto 4/2021.

Lo qué exige la norma y lo qué aporta el sistema no son lo mismo. El artículo 18 de la Ley N° 19.880, en el texto fijado por la Ley N° 21.180, establece que el procedimiento administrativo "consta de las siguientes etapas: iniciación, instrucción y finalización" [19]. El artículo 8° del Decreto 4/2021 añade que el expediente debe contener "un registro actualizado de todas las actuaciones de toda especie que se verifiquen en el procedimiento administrativo, de acuerdo con cada etapa del procedimiento" [2]. Es decir: la norma fija tres etapas y exige que cada actuación quede registrada bajo la etapa que le corresponde; no prescribe estados intermedios ni transiciones concretas. Los siete estados del sistema son, por tanto, **una descomposición operativa propia** de esas tres etapas, y la Tabla 9 muestra a cuál corresponde cada uno.

Tabla 9: Estados del sistema según las etapas del procedimiento

Etapa legal (Ley N° 19.880, art. 18)	**Etapa operativa del sistema**	**Estado del ticket**	**Transición**
Iniciación	Ingreso de la solicitud	`nuevo`	Creación del ticket (cualquier canal)
Instrucción	Clasificación	`en_revision`	`clasificar`
Instrucción	Asignación	`asignado`	`asignar`
Instrucción	Tramitación	`en_progreso`	`iniciar`
Finalización	Resolución	`resuelto`	`resolver`
Finalización	Notificación y cierre	`cerrado`	`cerrar` (con aviso por correo al ciudadano)
Finalización	Excepción: rechazo	`rechazado`	`rechazar` (desde `en_revision`)

El ciclo cubre las tres etapas del procedimiento y deja cada una representada por al menos un estado con transición explícita. Adicionalmente, la máquina de estados incluye los estados `pendiente_ciudadano` y `pendiente_jefatura` para modelar bloqueos temporales dentro de la tramitación, y permite la reapertura desde `resuelto` hacia `en_progreso`, cubriendo el escenario de impugnación ciudadana. Cada transición genera de forma automática un registro en `tickets/*/historial` y un diff en `audit`, que es exactamente el "registro actualizado de todas las actuaciones" del artículo 8° del Decreto 4/2021 y la trazabilidad de tramitación del artículo 6° ii) del mismo reglamento, exigidos por R3 y R4.

4.2.2 OE3: Módulo de expediente electrónico

El OE3 comprometía implementar el módulo de expediente electrónico con tres componentes verificables: identificador único de caso, registro de auditoría exportable y comprobante verificable para el ciudadano. La Tabla 10 detalla la evidencia de implementación de cada componente.

Tabla 10: Evidencia de implementación del expediente electrónico

Componente (OE3)	**Implementación**	**Estado**
Identificador único de caso	Contador atómico en colección `counters`, formato `MUN-AAAA-NNNNN`, reinicio anual	Implementado
Registro de auditoría exportable	Colección `audit`: diff completo por evento, actor, timestamp; sin regla de borrado	Parcial (registro completo y consultable; exportación CSV/PDF pendiente, UC-25)
Comprobante verificable para el ciudadano	PDF descargable desde el portal de seguimiento con número de caso, estado e historial; reverificable en todo momento	Implementado
Historial por ticket	Subcolección `tickets/*/historial`: acción, campos modificados (valor anterior y nuevo), responsable, timestamp	Implementado
Portal de seguimiento ciudadano	Ruta pública `/seguimiento/:numero`: estado e historial del caso, sin notas internas, accesible con número de caso y RUT	Implementado
Adjuntos con acceso controlado	Firebase Storage con URLs firmadas (vigencia 15 min); validación cruzada extensión + MIME	Implementado

El estado de avance global del sistema, recontado ítem por ítem contra el código, alcanza **33 ítems completamente implementados de 45**, esto es un 73 %, más 4 parcialmente implementados y 8 pendientes.

Qué deja fuera: no contabiliza los módulos de Fase 2 que sí fueron implementados como el bot conversacional (M16) y las automatizaciones de geocodificación y alertas de SLA (M18), de modo que la cifra mide cobertura del alcance declarado y subestima el trabajo efectivamente realizado.

Qué se contabiliza aunque no sea técnico: la Fase 0 incluye una tarea de constitución societaria ajena al sistema, que se mantiene en el denominador para no ajustarlo a conveniencia y que cuenta como pendiente. Dónde se concentran los pendientes: cinco de los ocho

son la exportación del audit log a CSV/PDF (UC-25), la exportación de reportes en formato OIRS/CPLT (UC-26 y UC-27), la descarga de adjuntos por el ciudadano desde el portal público (UC-06) y la revocación del consentimiento (UC-08); los tres restantes son tareas de Fase 0 que dependen de gestiones externas o documentales. Ninguno compromete los componentes centrales del OE3 documentados en la Tabla 10.

Los dos ítems parciales de la Fase 1 son la vista de expediente completo para el ciudadano (UC-04), que muestra el historial pero no los adjuntos, y el acuse en papel de la recepción presencial (UC-19), donde el sistema genera e imprime el documento de consentimiento pero no un acuse formal de ingreso. Los dos de la Fase 0 son la integración continua, cuyo *pipeline* existe, pero sin entorno de *staging* separado, y la cuenta de WhatsApp Business, cuyo *webhook* está implementado a la espera de aprobación externa.

4.3 OE4 — Validación por instrumentos técnicos

El OE4 comprometía validar la solución mediante tres instrumentos técnicos verificables de forma independiente, sin requerir despliegue en producción. Esta subsección ejecuta cada instrumento y presenta sus resultados.

4.3.1 Instrumento 1: Matriz de trazabilidad de requisitos

La matriz de trazabilidad cruza cada requisito derivado en el OE1 con el o los componentes del sistema que lo implementan, permitiendo verificar cobertura. La Tabla 11 presenta el resultado de esta verificación.

Tabla 11: Matriz de trazabilidad de requisitos

ID	Requisito	Componente	Cómo se verificó	Estado
R1	Expediente accesible por el ciudadano	Portal `/seguimiento/:numero`	Consulta pública de un caso sembrado con número y RUT, sin sesión: devuelve estado e historial y omite las notas internas	Cubierto
R2	Identificador único de caso	Colección `counters` + campo `numero`	Prueba de carga: bajo 1.000 creaciones simultáneas el sistema rechaza 999 sin emitir folio; los niveles de 50 y 100 concurrentes produjeron 200 escrituras concurrentes exitosas sin colisión; al término de la corrida, 1.166 folios distintos, cero colisiones y cero saltos en el correlativo (Tabla 13)	Cubierto
R3	Trazabilidad completa del trámite	Subcolección `tickets/*/historial`	Contraste etapa por etapa contra el Decreto 4/2021 (Tabla 9): cada transición deja entrada con actor, marca temporal y cambio	Cubierto

continúa en la página siguiente

Tabla 11 — *continuación*

ID	Requisito	Componente	Cómo se verificó	Estado
R4	Registro de auditoría de solo agregado	Colección `audit`	Reglas de seguridad con escritura denegada desde cliente y sin operación de borrado ni actualización expuesta; confirmado tanto en la autoevaluación de agosto de 2026 como, de forma independiente y fresca, en la revisión de septiembre de 2026 (Anexo D), que listó las reglas de Firestore explícitamente entre lo "revisado y encontrado sólido"	Cubierto
R5	Comprobante verificable de ingreso	Descarga en PDF desde el portal público	Generación del comprobante desde la vista pública de un caso: incluye número, estado e historial, y es reproducible contra número y RUT	Cubierto
R6	Digitalización de documentos	Firebase Storage + validación MIME + URLs firmadas	Validación cruzada de extensión y tipo MIME, y acceso exclusivo por URL firmada de vigencia acotada; hallazgos C3 y C4 de la autoevaluación de agosto de 2026, confirmados de forma independiente y fresca en la revisión de septiembre de 2026 (Anexo D), que verificó el manejo de adjuntos (sanitización de nombre de archivo, lista blanca de extensión, tipo MIME verificado) sin encontrar traversal de ruta	Cubierto
R7	Canales digitales de atención	Formulario web + bot conversacional	Ambos canales operativos y convergentes en el mismo modelo de solicitud; el canal WhatsApp depende de una habilitación externa no obtenida	Parcial
R8	Notificación electrónica	Servicio de correo saliente	Envío verificado en los tres eventos (acuse, cambio de estado y resolución) mediante prueba de humo del servicio de correo; la vía legalmente vinculante depende de Casilla Única	Parcial

continúa en la página siguiente

Tabla 11 — *continuación*

ID	Requisito	Componente	Cómo se verificó	Estado
R9	Autenticidad e integridad	Firebase Auth + *custom claims* + diff en `audit`	Aislamiento por municipio forzado y verificación de rol por endpoint en todos los canales, incluido el bot conversacional. La revisión independiente de septiembre de 2026 (Anexo D) encontró dos vulnerabilidades sobre este requisito que la autoevaluación de agosto no había cerrado del todo: el bot sin autenticación (hallazgos C2/3P-1) y un secreto de firma de sesión ciudadana con valor de respaldo hardcodeado, confirmado sin configurar en producción (hallazgo A4/#1, el más grave de ambos informes); ambas corregidas y verificadas con pruebas automatizadas nuevas	Cubierto
R10	Accesibilidad del servicio digital	—	Sin auditoría formal de accesibilidad; declarado como límite de esta etapa en el Capítulo 3	Fuera de alcance

De los 10 requisitos identificados, 7 están completamente cubiertos, 2 lo están parcialmente y 1 queda fuera del alcance de esta etapa. Los dos parciales son: R7, por el canal WhatsApp pendiente de aprobación de cuenta Meta Business, y R8, cuyo canal de correo opera pero cuya vía legalmente vinculante depende de Casilla Única; ambas brechas están acotadas por dependencias externas, no por el desarrollo. La tabla declara, para cada requisito, su estado y el medio con el que se verificó; si ese conjunto basta para superar una fiscalización es un juicio que corresponde al organismo fiscalizador y no a este trabajo, según se discute en el Capítulo 5.

4.3.2 Instrumento 2: Checklist de conformidad normativa

El checklist evalúa ítem por ítem el cumplimiento del componente de expediente electrónico de la Ley N° 21.180, a un nivel de detalle verificable por un tercero con acceso al código. Extiende la Tabla 7 del Capítulo 3 con una columna de evidencia concreta.

Tabla 12: Checklist de conformidad normativa

Ítem (Ley N° 21.180 / Decreto 4/2021)	**Estado**	**Evidencia**
Expediente electrónico accesible por el ciudadano	Implementado	Portal público `/seguimiento` con estado e historial filtrado
Identificador único de caso	Implementado	Formato `MUN-AAAA-NNNNN`, contador atómico por municipio y año
Trazabilidad completa del trámite	Implementado	Historial por ticket + registro de auditoría generados en cada transición
Comprobante verificable de ingreso	Implementado	PDF descargable desde `/seguimiento` con número de caso, estado e historial
Digitalización de documentos en papel al ingreso	Implementado	Adjuntos con validación cruzada de extensión y tipo MIME, almacenados con acceso exclusivo por URL firmada
Autenticidad e integridad del expediente	Implementado	Autenticación con *custom claims*, aislamiento por municipio en cada consulta y diff completo de cada cambio en `audit`
Canales digitales para trámites	Parcial	Formulario web y bot operativos; WhatsApp pendiente de aprobación Meta Business
Registro de auditoría de solo agregado	Implementado	Colección `audit` sin operación de escritura ni borrado expuesta, con diff completo por cambio. La interfaz de exportación a CSV/PDF está pendiente, pero el registro exigido por la norma existe y es consultable
Notificación electrónica al ciudadano	Parcial	Correo al ciudadano en ingreso, cambio de estado y resolución; Casilla Única (DDU) obligatoria desde 01-2027

continúa en la página siguiente

Tabla 12 — *continuación*

Ítem (Ley N° 21.180 / Decreto 4/2021)	**Estado**	**Evidencia**
Cómputo de plazos en días hábiles	Implementado	La fecha límite del SLA se calcula descontando sábados, domingos y feriados chilenos en zona horaria de Santiago, conforme al criterio del art. 25 de la Ley N° 19.880. Límites declarados en la Sección 3.11: conversión directa de horas a días hábiles y degradación a solo fines de semana si la fuente de feriados no responde
Accesibilidad del servicio digital	Fuera del alcance	Sin auditoría formal de accesibilidad; declarado como límite de esta etapa en la Sección 3.11

4.3.3 Instrumento 3: Prueba de carga

La prueba de carga evalúa el comportamiento del sistema bajo un volumen de solicitudes representativo de un municipio de Grupo C, sin requerir un municipio real como entorno de ejecución. Se evalúan dos pipelines críticos: la creación de una solicitud (que encadena validación de esquema, resolución de catálogos, emisión del folio mediante transacción sobre el contador, escritura del documento y generación de historial y auditoría) y el detector de vencimientos de SLA, que opera por lotes de 500 documentos con un tope de 20 lotes por corrida.

Entorno y alcance de la medición. La ejecución se realizó sobre los emuladores de Firestore y de autenticación, en un proyecto desechable sembrado con los datos de catálogo del sistema. Las mediciones se toman **en la capa de servicio**, no a través de la interfaz HTTP: excluyen la latencia de red y la del proveedor *serverless*, que en un entorno local no serían representativas, y aíslan el trabajo que sí depende del diseño de la solución. El instrumento está versionado en el repositorio del *backend* (Anexo C) como `src/loadtest/load-test.ts`, de modo que un tercero con acceso al repositorio puede reproducir la medición.

Es un script de Node.js/TypeScript, sin framework de carga de terceros, que se ejecuta con `firebase emulators:exec` y `ts-node`. Para cada nivel de concurrencia c levanta un fondo de c *workers* que compiten por tomar la siguiente operación de una cola de máx$(100, c)$ hasta agotarla, en vez de disparar c llamadas simultáneas en una sola ráfaga. Cada operación se cronometra con `performance.now()` y se clasifica en éxito o error según la promesa se resuelva o se rechace. Al cerrar el nivel se calculan la mediana y el percentil 95 (método

del rango más cercano, sin interpolación) sobre las operaciones exitosas y la tasa de error sobre el total intentado, y ambos valores se imprimen por consola; esa salida es la que se reproduce íntegra en el Anexo E.

El emulador es una implementación local cuyo comportamiento de contención transaccional, es decir, resolución de conflictos, política de reintento y límites de escritura sostenida sobre un mismo documento, no reproduce el del servicio administrado en producción. En consecuencia, esta prueba permite **acotar el rango** en que aparece la contención y comprobar **cómo degrada** el sistema al saturarse y, sobre todo, cuál es su modo de fallo, pero **no** permite fijar el umbral absoluto que regiría en producción ni la tasa de error de un nivel concreto. La corrida que se reporta más abajo muestra hasta qué punto esa segunda cifra es inestable. La comprobación empírica de ese umbral exigiría medir contra el servicio real y queda como línea de continuación.

Derivación del volumen de referencia. Los umbrales se definieron a partir del volumen esperado de solicitudes en un municipio del segmento objetivo. No existe estadística pública desagregada de solicitudes ciudadanas a nivel municipal, de modo que el rango se estima a partir de datos verificables: Vitacura registró aproximadamente 29.500 solicitudes durante 2025 [40] con una población de 86.420 habitantes según el Censo 2024 [54], esto es, 0,341 solicitudes por habitante y año. Aplicando esa tasa sin redondear, 29.500/86.420, a los municipios de Grupo C relevados en el Anexo B (María Pinto, con 15.352 habitantes, y Zapallar, con 7.980) se obtienen 437 y 227 solicitudes mensuales respectivamente. De ahí el rango de referencia de **200 a 500 solicitudes mensuales**, que se declara como estimación propia.

El traslado de esa tasa exige un supuesto que conviene enunciar en vez de dejarlo implícito: que la razón de solicitudes por habitante es comparable entre un municipio de tipología 1 con sistema de tickets en operación y municipios de tipologías 4 y 5 que operan en papel. Hay razones para dudar en ambas direcciones, y el documento no dispone de datos para resolverlas. Vitacura *captura* su demanda porque tiene sistema, mientras que un municipio en papel tiene demanda latente que nadie registra, lo que empujaría la cifra real hacia arriba; pero Vitacura también presta más servicios digitales por habitante, lo que la empujaría hacia abajo. El rango se usa, por tanto, como orden de magnitud para dimensionar la prueba, y no como estimación de demanda. Conviene mostrar cuánto margen tolera un error en esa dirección: incluso si la demanda real del segmento fuera cien veces mayor que la estimada por este método, un error muy superior al que la discusión anterior contempla, la concurrencia esperada pasaría de $1,3 \times 10^{-4}$ a $1,3 \times 10^{-2}$ solicitudes en vuelo, todavía dos a tres órdenes de magnitud por debajo de la banda de contención observada (8 a 25 concurrentes). El margen declarado en la Sección 3.11 no depende, por tanto, de que la estimación de demanda sea precisa, sino de que no esté equivocada en más de dos órdenes de magnitud.

La Tabla 13 resume la corrida. La fila de tasa de error de creación no se desglosa por banda de concurrencia de forma deliberada, porque, como se documenta más abajo, el valor de cada nivel intermedio no es reproducible entre corridas y una banda declarada conforme afirmaría más de lo que el instrumento sostiene; la fila del detector de SLA lee 504 documentos, no los 1.166 de la corrida completa, porque su consulta filtra por fecha límite y se

ejecuta antes de la ráfaga final. Esos 504 documentos son, además, una fracción pequeña (alrededor de un 5 %) del tope arquitectónico declarado del detector (20 lotes de 500, hasta 10.000 documentos); el resultado “Cumple” acredita el comportamiento del instrumento al volumen efectivamente probado, no su desempeño cerca de ese tope.

Tabla 13: Resultados de la prueba de carga

Métrica	**Escenario**	**Resultado**	**Umbral**	**Cumple**
Tiempo de respuesta P95 — creación de solicitud	5 solicitudes concurrentes: primer nivel que supera el umbral	3,262 s (n = 100, mediana 0,016 s)	$<$ 2 s	**No**
Tiempo de respuesta P95 — consulta pública	100 solicitudes concurrentes	0,121 s (n = 1.000)	$<$ 1 s	Sí
Tasa de error — creación	Rampa de 1 a 200 concurrentes, más la carga previa de 600 operaciones a concurrencia 8	0 % a 1, 5 y 10 en esta corrida, pero **8,8 %** en la carga previa a concurrencia 8 y 99 % a 200. El valor de cada nivel intermedio no es reproducible entre corridas y no se publica como resultado	$<$ 1 %	**No**
Tasa de error — consulta pública	100 solicitudes concurrentes	0 % (n = 1.000)	$<$ 1 %	Sí
Tiempo de ejecución — detección de vencimientos de SLA	Consulta filtrada por fecha límite, lotes de 500	0,032 s (504 documentos leídos en 2 lotes; 503 candidatos tras descartar estados terminales)	$<$ 60 s	Sí
Colisiones de folio	200 escrituras concurrentes exitosas (niveles de 50 y 100)	0 colisiones	0	Sí
Modo de fallo bajo contención extrema	1.000 creaciones simultáneas	1 folio emitido, 999 rechazados sin consumir número	rechazo, no duplicación	Sí
Saltos en el correlativo	Corrida completa, 1.166 solicitudes	0 saltos (contador = máximo folio = folios distintos = 1.166)	0	Sí

Rampa de concurrencia y punto de saturación. Para acotar el límite del sistema y no solo comprobar umbrales, la creación de solicitudes se midió a siete niveles crecientes de concurrencia, ejecutando en cada uno el mayor valor entre cien operaciones y el propio nivel. Esa precaución no es menor: una versión anterior del instrumento lanzaba siempre cien operaciones, de modo que en el nivel de 200 los trabajadores excedentes terminaban sin trabajo y el nivel medía en realidad cien solicitudes en vuelo. El resultado completo, sin seleccionar niveles, se presenta en la Tabla 14.

Tabla 14: Creación de solicitudes ante concurrencia creciente

Solicitudes concurrentes	Operaciones	n (exitosas)	Latencia mediana	Latencia P95	Tasa de error
1	100	100	0,015 s	0,017 s	0 %
5	100	100	0,016 s	3,262 s	0 %
10	100	100	0,016 s	6,920 s	0 %
25	100	75	0,017 s	10,926 s	**25 %**
50	100	100	2,665 s	7,335 s	0 %
100	100	100	6,652 s	12,240 s	0 %
200	200	**2**	2,417 s	21,693 s	**99 %**

Las latencias de la Tabla 14 se calculan **solo sobre las operaciones exitosas**, y por eso se publica la columna *n*: en el nivel de 200 sobrevivieron apenas dos operaciones, de modo que su P95 es el mayor de esos dos valores y no un percentil propiamente dicho.

Los dos umbrales que no se cumplen. El instrumento fijó por anticipado un P95 de creación inferior a 2 segundos y una tasa de error inferior al 1 % (valores de referencia genéricos de experiencia de usuario web, sin fuente normativa ni de literatura específica al dominio, ya que ninguna disposición de la Ley N° 21.180 o el Decreto 4/2021 fija un tiempo de respuesta) y **ninguno de los dos se cumple** fuera del régimen de baja concurrencia. El P95 falla en el segundo peldaño de la rampa (cinco solicitudes concurrentes, 3,262 s frente a los 2 s comprometidos) y la tasa de error se sale del umbral dentro de la rampa, en un nivel que varía entre corridas según se documenta más abajo. Conviene precisar qué representa el escenario de la Tabla 13: cinco solicitudes concurrentes es el **primer nivel en que el umbral se incumple**, no el punto de operación esperado del sistema, que como se deriva más abajo es órdenes de magnitud menor. Se elige por ser el peor caso admisible y no por ser representativo. Conviene además decirlo antes de interpretar el resultado, porque la interpretación no lo cancela.

La causa es identificable y proviene de una decisión de diseño explícita: el folio se emite mediante una transacción sobre un **documento único** por municipio (`counters/{municipalityId}`), que bajo concurrencia alta se convierte en punto de contención y provoca que las transacciones compitan y aborten. El diagnóstico se lee en la distribución. Hasta veinticinco solicitudes concurrentes la mediana permanece en torno a 16 milisegundos mientras la P95 sube a segundos: el trabajo por solicitud no se degrada, se degrada la **cola**, y lo que la alarga son unas pocas operaciones que reintentan la transacción sobre el contador mientras el resto la gana a la primera. A cinco solicitudes concurrentes esa diferencia es de dos órdenes de magnitud (0,016 s de mediana contra 3,262 s de P95) con cero errores: aproximadamente cinco de cada cien operaciones esperan segundos y las demás milisegundos. Desde cincuenta la mediana misma se degrada (2,665 s y 6,652 s a 50 y 100), lo que indica que la contención deja de afectar solo a la cola y pasa a alcanzar a la operación típica.

Un segundo hallazgo obliga a acotar la conclusión bastante más de lo que el instrumento sugería a primera vista: **la rampa no es monótona, y no lo es dentro de una misma corri-**

da. En la corrida reportada, la tasa de error fue 0 % a diez solicitudes concurrentes, 25 % a veinticinco, y de nuevo 0 % a cincuenta y a cien, antes de saltar a 99 % a doscientas. Un nivel intermedio falla mientras los dos que lo rodean por arriba no fallan: el error no crece con la carga de forma ordenada.

La latencia se comporta igual. La P95 tampoco es monótona: 10,926 s a veinticinco solicitudes concurrentes frente a **7,335 s a cincuenta**, un tercio menos al doblar la concurrencia. Y el valor que la Tabla 13 levanta como cabecera, la P95 del nivel de cinco, se movió un **21 %** entre las dos corridas, de 2,695 s a 3,262 s. Lo robusto es el hecho de que el umbral de 2 segundos se incumple, que ocurre en ambas corridas y en el mismo nivel; lo que no es robusto es la magnitud concreta del incumplimiento, y este capítulo no la interpreta.

La comparación entre corridas es aún más restrictiva. Una corrida anterior del mismo instrumento, con la misma configuración, arrojó 15 %, 0 %, 47 % y 95 % a diez, veinticinco, cincuenta y cien, casi el patrón inverso. A diferencia de la corrida principal, transcrita íntegra en el Anexo E, la salida cruda de esta corrida anterior no se conservó y no está adjunta en ningún anexo; los cuatro valores citados provienen del registro del autor al momento de ejecutarla, no de un log reproducible. Puestas una junto a otra, el único tramo de la rampa que quedó sin errores en **ambas** corridas es el de hasta cinco solicitudes concurrentes: a diez erró la primera y no la segunda, a veinticinco la segunda y no la primera, y a cincuenta y cien de nuevo la primera y no la segunda. De las dos corridas sobreviven, por tanto, solo dos afirmaciones: que hasta cinco solicitudes concurrentes no se observaron errores en ninguna de ellas, y que la contención sobre el contador produce fallo masivo en el extremo superior de la rampa. **La tasa de error de un nivel intermedio concreto no es reproducible y este capítulo no la usa como resultado; tampoco la frontera exacta a partir de la cual aparece.** Esto es exactamente lo que cabía esperar del límite de entorno declarado más arriba, y es la razón por la que el capítulo afirma que existe un punto de saturación y cuál es el modo de degradación, pero no dónde está exactamente ese punto ni cuánto falla cada nivel.

Un punto de datos adicional, tomado en condiciones independientes de la rampa, apunta en la misma dirección: la carga previa que puebla la base ejecutó 600 creaciones a concurrencia 8 y completó 547, con 53 fallos. Es decir que a ocho solicitudes concurrentes (por debajo del primer nivel donde la rampa de esta corrida registró error) ya se observa contención cuando el volumen de operaciones es seis veces mayor. Refuerza que el fenómeno depende del volumen acumulado de escrituras sobre el contador y no solo del nivel instantáneo de concurrencia, y es una razón más para no publicar un umbral absoluto.

Integridad del folio bajo contención extrema. La segunda mitad del instrumento somete al sistema a mil creaciones estrictamente simultáneas, muy por encima de su punto de saturación, para observar qué ocurre con el identificador cuando el mecanismo falla. El resultado tiene dos partes y ambas importan.

La primera es que de esas mil creaciones el sistema completó **1 y rechazó 999** sin emitir folio. Es el comportamiento buscado: cuando se satura **rechaza en lugar de duplicar**. Una única escritura exitosa no es evidencia de unicidad, sino del modo de fallo. **La evidencia de**

unicidad bajo concurrencia real está en la rampa, donde los niveles de cincuenta y de cien solicitudes concurrentes produjeron cien creaciones cada uno con cero errores y sin una sola colisión de folio; son doscientas escrituras concurrentes exitosas, y no una.

La segunda parte es la comprobación de integridad al término de la corrida completa, que acumuló 1.166 solicitudes. El desglose cierra sin residuo: 41 de las semillas de datos, 547 de la carga previa a concurrencia 8, 577 de los siete niveles de la rampa y 1 de esta ráfaga. El resultado fue **cero colisiones**, con el contador en 1.166, el folio de mayor correlativo en 1.166 y los folios distintos en 1.166. Contador, máximo y cardinal coinciden, de modo que **la secuencia no tiene saltos**: una transacción abortada no consume número, porque el incremento del contador solo se confirma junto con la escritura de la solicitud.

Dado que el folio se emite **dentro** de la transacción, el salto es imposible por construcción y no una propiedad en duda: lo que la comprobación acredita es que la implementación desplegada es la que el diseño describe, y no que una hipótesis abierta se haya confirmado. La comprobación que sí podía fallar es la de colisiones, y es la que las doscientas escrituras concurrentes exitosas de la rampa respaldan. Con esa lectura, R2 queda verificado en sus dos propiedades, unicidad y continuidad, por medición y no por afirmación, y sostiene lo declarado en el Capítulo 3 sobre el formato `MUN-AAAA-NNNNN`.

Por qué el sistema sigue siendo apto pese a los dos incumplimientos. Con el rango de referencia derivado más arriba, 500 solicitudes mensuales repartidas en 22 días hábiles de 8 horas equivalen a 2,8 solicitudes por hora. Incluso asumiendo un factor de punta de diez veces sobre esa media, la tasa de llegada esperada es de 0,008 solicitudes por segundo. Esa tasa no es directamente comparable con un nivel de concurrencia ya que son magnitudes distintas: solicitudes por unidad de tiempo frente a solicitudes en vuelo y conviene convertirla antes de usarla. Por la ley de Little, la concurrencia media es el producto de la tasa de llegada por el tiempo de servicio: con los 0,016 s que el sistema tarda por solicitud sin contención, resulta una concurrencia esperada de $\mathbf{1{,}3 \times 10^{-4}}$ **solicitudes en vuelo**. Frente a las ocho a veinticinco solicitudes concurrentes en que la contención empieza a observarse, la demanda esperada queda entre $\mathbf{6 \times 10^{4}}$ **y** $\mathbf{2 \times 10^{5}}$ **veces por debajo**: más de cuatro órdenes de magnitud, y no los tres que resultaban de comparar magnitudes distintas. La conversión correcta refuerza el argumento en vez de debilitarlo. Los umbrales incumplidos describen, por tanto, un régimen de carga que el segmento objetivo no alcanza, y el modo de fallo cuando se alcanza es el correcto, o sea, rechazo, no duplicación ni pérdida de integridad. La lectura pública, que es la operación que un ciudadano ejecuta con más frecuencia, se mantuvo holgadamente bajo su umbral con cien consultas concurrentes y sin un solo error.

Esto no convierte los dos umbrales incumplidos en irrelevantes: fija su alcance. El techo de escritura concurrente es una limitación real del diseño actual, se declara como tal en la Sección 3.11, y su mitigación conocida (distribuir el contador en fragmentos) queda como trabajo futuro, justificable solo si el sistema se extiende a municipios de volumen sustancialmente mayor que el del segmento objetivo.

4.3.4 Verificación del objetivo general: sin infraestructura propia

Los tres instrumentos anteriores acreditan los objetivos específicos. El objetivo general añade una cláusula que ninguno de ellos verifica y que se cierra aquí, porque es trivial de comprobar y precisamente por eso su omisión llamaría la atención: que el expediente electrónico se genere **sin requerir infraestructura propia** del municipio. La comprobación que sigue es arquitectónica y no constituye un cuarto instrumento.

La verificación es arquitectónica y se comprueba contra los repositorios del Anexo C. El sistema se despliega íntegramente sobre servicios administrados: la API corre sobre Cloud Functions, la persistencia sobre Firestore, los archivos sobre Cloud Storage, la autenticación sobre Firebase Auth y la interfaz sobre Firebase Hosting. En consecuencia, el municipio no administra servidor alguno (ni físico ni virtual), no opera un motor de base de datos, no gestiona certificados ni respaldos de infraestructura lo que acredita que esa operación no recae en el municipio, y no que existan respaldos programados: su ausencia se declara como deuda técnica en la Sección 3.11, y no instala software en los equipos de sus funcionarios: el acceso ocurre por navegador. La única infraestructura que el municipio aporta es la que ya tiene para cualquier otra tarea, es decir, computadores con conexión a internet.

La contrapartida de esa propiedad también debe declararse, porque es la misma decisión vista desde el otro lado: el municipio no administra infraestructura, pero tampoco la controla, y queda dependiente de un proveedor externo en cuanto a disponibilidad, continuidad del servicio y residencia de los datos.

4.4 Comparación de escenarios: situación anterior vs. situación con Munia

Esta subsección valida la solución bajo el criterio de mejora de proceso. La comparación exige una línea base, y conviene decir con precisión de dónde sale: no de un municipio en operación, sino del **relevamiento propio de cuatro municipios de Grupo C** documentado en el Anexo B (Tabla 18), donde ninguno de los cuatro entrega al ciudadano un identificador de caso consultable en línea ni expone el estado de tramitación. La columna de situación previa describe, por tanto, la operación efectivamente observada en ese relevamiento, no un municipio hipotético ni un promedio sectorial.

Tabla 15: Operación observada frente a la situación con Munia

Indicador	**Situación observada en el relevamiento (Anexo B)**	**Situación con Munia**
Comprobante verificable de ingreso	No disponible	PDF descargable desde el portal de seguimiento

continúa en la página siguiente

Tabla 15 — *continuación*

Indicador	**Situación observada en el relevamiento (Anexo B)**	**Situación con Munia**
Trazabilidad del caso consultable por el ciudadano	Ausente en los cuatro municipios relevados	Historial completo por solicitud, visible en el portal público
Identificador único de caso	No existe	Formato `MUN-AAAA-NNNNN`, irrepetible
Canales de ingreso con expediente asociado	Ninguno: los canales publicados (correo, PDF descargable, formulario de terceros o plataforma estatal) no emiten folio ni abren expediente	3 canales con interfaz propia (presencial, formulario web y bot conversacional), todos sobre el mismo modelo de solicitud; el catálogo de canales registrables es configurable por el municipio (Capítulo 3)
Visibilidad del estado del trámite para el ciudadano	Requiere contacto directo con el municipio	Portal público `/seguimiento` disponible 24/7
Acceso al historial de un caso	Sin historial consultable; su reconstrucción queda a cargo de quien tramita, con el costo en tiempo de funcionario planteado como hipótesis y no como medición (Capítulo 1)	Historial completo, consultable de forma inmediata por número de caso
Compromiso de plazo publicado al ciudadano	Ninguno de los cuatro municipios publica plazo de respuesta ni estado de cumplimiento	SLA configurable (24/48/72 hrs según urgencia), computado en días hábiles, con alertas automáticas al funcionario
Exportabilidad para fiscalización	No disponible	Colección `audit` con diff completo; exportación CSV/PDF (UI pendiente)
Cumplimiento del componente de expediente electrónico	Sin expediente electrónico en ninguno de los municipios relevados	De 10 requisitos: 7 cubiertos, 2 parciales y 1 fuera del alcance de esta etapa (Tabla 12)

La comparación evidencia que la plataforma aborda por diseño las tres causas raíz del árbol del problema (Figura 2): estandariza todos los canales de ingreso en un único modelo de datos y provee el identificador único que enlaza las etapas del caso (ambas demostradas por medición, según este mismo capítulo), e introduce un sistema sin necesidad de infraestructura propia ni personal técnico dedicado, arquitectura que responde a la causa raíz 1 pero cuya operabilidad efectiva por funcionarios sin capacitación técnica avanzada, como se declara en la Sección 3.11 y en las Conclusiones, no fue medida en esta etapa. Los cinco efectos identificados en el árbol quedan mitigados por las funcionalidades descritas en la Tabla 2, con esa misma salvedad para los efectos que dependen de la adopción efectiva por parte de los funcionarios.

4.5 Validación complementaria por juicio de expertos

Los tres instrumentos técnicos y la comparación anterior validan la solución contra el texto legal o contra su propio comportamiento medido. Ninguno de ellos somete el diseño y el plan de implementación al juicio de personas ajenas al desarrollo. Por esto se elaboró un instrumento complementario: el juicio de expertos.

El instrumento. Se elaboró un documento breve (Anexo F) que describe, en lenguaje no técnico, el problema que Munia aborda, su funcionamiento (con capturas de pantalla del sistema en operación), la cobertura de los diez requisitos derivados en la Tabla 8 y el plan de puesta en marcha en un municipio (configuración, capacitación, marcha blanca y operación regular). El documento es explícito sobre qué se evalúa: el **diseño y el plan**, no un sistema desplegado en el municipio del revisor. Cierra con una encuesta breve donde cada revisor indica qué le parece correcto, qué no, y qué falta, con la opción de que sus respuestas se citen con nombre y cargo o se usen de forma anónima.

Estado de la gestión y alcance. Se realizó la gestión de envío del instrumento a revisores, pero sus resultados no se incluyen en esta memoria por requerir más tiempo para obtener las respuestas y procesarlas. Completar su análisis queda como línea de continuación (Sección 5.5).

CAPÍTULO 5
CONCLUSIONES

Esta memoria se propuso diseñar e implementar una plataforma SaaS multi-tenant que permitiera a los municipios del Grupo C generar un expediente electrónico trazable para sus solicitudes ciudadanas, conforme a la Ley N° 21.180 y al Decreto 4/2021, sin requerir infraestructura propia. Este capítulo cierra el trabajo en cuatro movimientos: qué se obtuvo frente a cada objetivo, qué quedó demostrado y qué no, cuál es la contribución que el trabajo reclama y con qué límites, y qué queda por hacer.

5.1 Resultados frente a los objetivos

OE1 — Derivar los requisitos mínimos del expediente electrónico. Cumplido. El objetivo se alcanzó y su resultado terminó siendo más que un insumo: es el eje que ordena toda la validación. Del análisis de la Ley N° 19.880 en el texto fijado por la Ley N° 21.180, y del Decreto 4/2021 que la reglamenta, se derivaron diez requisitos, cada uno anclado a la disposición concreta que lo funda y no al cuerpo normativo en bloque (Tabla 8). El relevamiento propio de cuatro municipios de Grupo C (Anexo B) y la revisión del estado del arte confirmaron que ninguna solución disponible acredita cobertura del conjunto, por lo que la derivación normativa fue el único camino disponible.

OE2 — Diseñar e implementar el ciclo completo de trazabilidad. Cumplido, con una precisión. El ciclo está implementado como máquina de estados: siete estados con transiciones explícitas, cada una generando de forma automática una entrada en el historial del caso y un *diff* en el registro de auditoría. La precisión es sobre el alcance de la palabra “conforme”: el Decreto no prescribe estados ni transiciones, sino que exige registrar toda actuación bajo la etapa del procedimiento que le corresponde, y las etapas son tres (iniciación, instrucción y finalización). Los siete estados del sistema son descomposición operativa propia adscrita a esas tres.

OE3 — Implementar el módulo de expediente electrónico. Cumplido, con una precisión. Los tres componentes comprometidos existen y fueron verificados: el identificador único de caso con formato `MUN-AAAA-NNNNN` emitido por transacción atómica, el registro de auditoría de solo agregado, sin operación de escritura ni borrado expuesta, con *diff* completo por cambio, y el comprobante verificable que el ciudadano obtiene desde el portal público contra número de caso y RUT. La precisión es sobre el segundo componente: el registro de auditoría existe y es consultable, que es lo que la norma exige, pero la interfaz que lo haría

exportable a CSV/PDF está pendiente, al igual que el informe en formato OIRS/CPLT que se apoyaría en ella.

OE4 — Validar mediante instrumentos técnicos. Cumplido, y es el objetivo que más aprendizaje dejó. Los tres instrumentos se ejecutaron. La matriz de trazabilidad cubre los diez requisitos declarando cómo se verificó cada uno; el checklist de conformidad evalúa once ítems con estado explícito; y la prueba de carga se ejecutó contra emuladores con instrumento versionado y reproducible. Lo que ese último instrumento entregó no fue una confirmación: dos de sus umbrales autoimpuestos no se cumplen, y decirlo es parte del resultado.

Objetivo general. La cláusula "sin requerir infraestructura propia" se verifica por arquitectura y quedó acreditada en el Capítulo 4: despliegue íntegramente sobre servicios administrados, sin servidor que el municipio opere y sin instalación local. El resto del objetivo general se sostiene sobre el cumplimiento de los cuatro objetivos específicos.

5.2 Qué quedó demostrado y qué no

Quedó demostrado que el sistema produce el expediente electrónico: de los diez requisitos derivados, siete están completamente cubiertos, dos lo están parcialmente (R7, por el canal WhatsApp pendiente de aprobación externa, y R8 que depende de Casilla Única) y uno, la accesibilidad, queda fuera del alcance de esta etapa; cada cobertura tiene un modo de verificación declarado. Quedó demostrado que el identificador de caso es único y continuo. Lo que la contención extrema acredita es el **modo de fallo**: de mil creaciones simultáneas el sistema emitió **un** folio y rechazó **999** sin consumir número, al saturarse **rechaza en lugar de duplicar**, lo correcto cuando la unicidad del identificador es exigencia legal. La **unicidad** bajo concurrencia real la demuestran los niveles de cincuenta y cien solicitudes de la rampa, con doscientas escrituras exitosas y cero colisiones. Y la **continuidad** la demuestra la corrida completa: al término de sus 1.166 solicitudes, el contador, el folio máximo y el cardinal de folios distintos coinciden exactamente.

No quedó demostrado que la plataforma sea operable por funcionarios municipales sin capacitación técnica avanzada. Es un criterio de diseño que atraviesa toda la propuesta y que esta etapa declaró explícitamente como no medido: los instrumentos empleados son técnicos y documentales, y ninguno sustituye una prueba de usabilidad con funcionarios reales. Tampoco quedó demostrado que el sistema mejore los tiempos efectivos de tramitación, porque eso exige un municipio en operación y este trabajo no contempló la operación en un municipio real (el Anexo A verifica el despliegue de la tarea F0-1, pero desplegado no es lo mismo que en uso); la comparación de escenarios contrasta contra lo observado en el relevamiento, y sus consecuencias no observables desde un sitio público se mantuvieron como hipótesis en ambos capítulos. No quedó demostrada la conformidad con el estándar de accesibilidad, declarada fuera del alcance con su fundamento normativo. Y no quedó determinado el umbral absoluto de carga en producción: la medición corrió sobre emuladores, cuyo comportamiento de contención transaccional no reproduce el del servicio administrado. Que la rampa resultara no monótona **dentro de una misma corrida**, y que dos corridas

de la misma configuración arrojaran patrones de error casi inversos, es la evidencia más clara de ese límite, y la razón por la que este trabajo acota el punto de saturación a un rango en lugar de publicarlo como cifra, sin usar la tasa de error de ningún nivel intermedio como resultado.

5.3 Contribución

La contribución de este trabajo no es el sistema. Un sistema de tickets con historial y auditoría no es, por sí mismo, un aporte: la contribución es haber formalizado **qué constituye trazabilidad suficiente** para un municipio que parte desde papel, y haberlo hecho de manera que un tercero pueda comprobarlo.

Esa formalización tiene tres piezas. La primera es el catálogo de diez requisitos, cada uno derivado de una disposición identificable, no del cuerpo normativo en bloque, y con su estado declarado, incluido el que no se cumple. La segunda es el criterio de suficiencia asociado a cada instrumento: qué cuenta como cobertura verificada de un requisito, pregunta que la matriz de trazabilidad y el checklist responden y que ninguna herramienta genérica trae consigo. La tercera es el conjunto de decisiones de diseño que traducen los conceptos legales en artefactos: el folio atómico como implementación del orden de ingreso del artículo 8°, la subcolección de historial como implementación del registro sucesivo del artículo 16 bis, la colección de auditoría sin regla de borrado como implementación del principio de fidelidad.

Ese conjunto es transferible al resto del Grupo C porque no depende de las particularidades de un municipio: se deriva de una norma que obliga a los 261 por igual, y de un punto de partida, sin expediente, sin folio, sin estado consultable, que el relevamiento encontró en los cuatro casos revisados y también en el municipio de Grupo B incorporado como contraste. Lo que un municipio distinto tendría que revisar no es el catálogo, sino su calibración: los plazos de servicio, el catálogo de categorías y la estructura de direcciones.

No es un estándar: es una propuesta de mínimos derivada por un autor. Y no es una demostración de que estos diez requisitos sean suficientes para aprobar una fiscalización: son los que el texto normativo permite derivar, y su suficiencia práctica solo puede establecerla el organismo que fiscaliza.

5.4 Limitaciones

Las limitaciones del trabajo, consolidadas, son de dos clases.

De alcance construido. Quedaron fuera de esta etapa la integración con ClaveÚnica, la habilitación de WhatsApp Business API, la notificación con valor legal vía Casilla Única, la integración con el Archivo Nacional Electrónico central, la exportación de informes en formato OIRS/CPLT, el flujo de revocación del consentimiento, la conformidad con el estándar de accesibilidad y el entorno de *staging* separado. Cuatro de las ocho dependen de gestiones o hitos externos (las tres primeras y el Archivo Nacional); las otras cuatro son entrega futura

acotada.

De diseño. El techo de escritura concurrente derivado del contador de folio en documento único es una limitación real, con mitigación conocida y no implementada. La conversión directa de horas a días hábiles en el cómputo del plazo de servicio impide representar plazos legales expresados en horas. Y el modelo documental, que resuelve bien el expediente, no favorece las consultas analíticas entre entidades, lo que es parte de la razón por la que la exportación de reportes quedó pendiente.

5.5 Líneas de continuación

Primero, la autenticación ciudadana. La integración con ClaveÚnica sigue siendo la pieza que desbloquea más cosas a la vez: habilita el ejercicio de derechos del titular (incluida la revocación del consentimiento, que la Ley N° 21.719 exige) y permite entregar al ciudadano el expediente completo con sus adjuntos, hoy limitado por no poder acreditar quién consulta. Lo único que ClaveÚnica sigue habilitando en seguridad es reemplazar la consulta pública por número más RUT (Anexo D, hallazgo A1) por una sesión real, cerrando el margen de enumeración que persiste mientras esa consulta exista así. Su plazo lo fija un trámite externo, de modo que iniciarlo temprano es lo que determina cuándo se puede avanzar en el resto.

Segundo, el despliegue en un municipio piloto. Es la línea que convierte en medición todo lo que hoy es hipótesis: el tiempo de funcionario, el volumen real de solicitudes, la operabilidad sin personal técnico y los tiempos efectivos de tramitación. Ninguna de esas cuatro cosas puede resolverse con más trabajo de ingeniería; todas requieren un municipio en operación. Es, por diferencia, la línea de mayor valor para el conocimiento y la única que este trabajo no podía emprender por sí solo.

Tercero, la Casilla Única, cuya obligatoriedad para los Grupos B y C rige desde el 1 de enero de 2027 y que por tanto tiene fecha propia: hasta entonces no hay nada que integrar, y desde entonces es exigible.

Cuarto, lo que solo importa si el sistema crece. El contador distribuido en fragmentos, la migración de la API HTTP a Cloud Functions de segunda generación (los procesos programados y los *triggers* ya la usan) y la persistencia de los *embeddings* del motor conversacional son mejoras cuya justificación depende del volumen: son correctas, y hoy resolverían un problema que el segmento objetivo no tiene. Medir contra el servicio real en vez de contra emuladores pertenece a esta misma categoría, y es lo que permitiría fijar el umbral que esta memoria dejó acotado pero no determinado.

Quinto, el cierre del juicio de expertos. El instrumento descrito en el Anexo F se elaboró y se gestionó su envío, pero no se incluyen sus resultados por el tiempo que requiere obtener y procesar las respuestas. Completarlo aportaría la mirada de personas ajenas al desarrollo sobre el diseño y el plan de puesta en marcha, que los instrumentos técnicos de esta memoria no entregan.

Sexto, los respaldos programados. El *backend* accede a Firestore con credenciales de administración que no pasan por las reglas de seguridad (Capítulo 3), y hoy no existen respaldos automáticos. Programarlos es la medida prioritaria para reducir el daño de un compromiso del *backend*, riesgo que esta memoria declara como residual.

5.6 Aprendizaje

Lo primero es que **la parte difícil no fue construir el sistema, sino justificar que lo construido basta**. Implementar un expediente trazable sobre una base documental es trabajo conocido. Determinar qué convierte a ese expediente en suficiente frente a una norma que describe procedimientos, no implementaciones, y hacerlo rastreable hasta un artículo, fue la parte que más tiempo consumió y más veces hubo que rehacer. La versión más útil de ese aprendizaje es concreta: la diferencia entre atribuir un requisito a "la Ley N° 21.180" y anclarlo al artículo 8° del reglamento no es de forma, es la diferencia entre afirmar y demostrar.

Lo segundo es que **medir sirve sobre todo cuando el resultado no es el esperado**. La prueba de carga estaba pensada para confirmar umbrales, y lo que hizo fue incumplir dos, revelar un punto de contención que el diseño no había considerado como riesgo y entregar el hallazgo más sólido del capítulo: que el sistema rechaza en vez de duplicar bajo saturación, sin saltos en el correlativo. Ninguna de esas tres cosas se sabía antes de ejecutar el instrumento, ni habría aparecido si la prueba se hubiera limitado a comprobar el umbral.

Si hubiera que tomar una decisión de diseño de nuevo, sería la del contador de folio. Resolver la unicidad con una transacción sobre un documento único fue correcto y simple para el volumen del segmento, pero el techo de escritura muy por debajo de lo que la infraestructura administrada sostiene no se advirtió al diseñar, sino al medir. Un contador distribuido desde el principio habría costado poco más y evitado ese límite.

ANEXOS

Anexo A — Catálogo de módulos y casos de uso

Este anexo presenta el catálogo de los 29 módulos (M1–M29) y 78 casos de uso (UC-01–UC-78) que conforman el alcance total del sistema Munia, estimado mediante la metodología Use Case Points (UCP). Los módulos se agrupan por fase de desarrollo. La Fase 0 reúne las tareas de arranque del proyecto, que no son casos de uso; los módulos de Fase 1 (M1–M14) agrupan los 38 casos de uso (UC-01–UC-38) que corresponden al núcleo implementado en esta etapa de la memoria y se detallan caso por caso. Los módulos de las Fases 2–5 representan el alcance proyectado del producto: se resumen a nivel de módulo, porque su función aquí es documentar el denominador del dimensionamiento total y no especificar funcionalidad construida.

La estimación UCP del sistema completo arrojó 763 horas técnicas (UUCP = 829, TCF = 1,07, ECF = 0,86), a las que se suman 200 horas de documentación legal (DPO), totalizando 963 horas. El factor de productividad utilizado es 1 HH = 1 UCP: una estimación propia a partir de la velocidad de desarrollo observada por el autor durante este proyecto, usando inteligencia artificial como copiloto de desarrollo, y no una cifra validada externamente o tomada de literatura.

F0 — Arranque del proyecto *Entregable: base operativa para desarrollar*

La Fase 0 no contiene casos de uso, sino las siete tareas de habilitación que deben estar resueltas antes de construir funcionalidad. Se enumeran aquí porque forman parte del alcance comprometido para esta etapa y, junto con los 38 casos de uso de la Fase 1, constituyen la base de cálculo del estado de avance que se reporta en el Capítulo 4.

Tabla 16: Tareas de arranque de la Fase 0 y su estado

ID	Tarea de arranque	Estado	Verificación
F0-1	Configuración del proyecto Firebase (Auth, Firestore, Functions, Hosting)	Implementado	`firebase.json` y `.firebaserc` versionados; sistema desplegado
F0-2	Repositorios de código y estructura de subproyectos	Implementado	Dos repositorios con los subproyectos, con *commits* de referencia fijados en el Anexo C
F0-3	Integración continua y entorno de *staging* separado	Parcial	Existen `ci.yml` y `deploy.yml` en ambos repositorios; no existe proyecto de *staging* separado: `.firebaserc` declara un único destino
F0-4	Cuenta de WhatsApp Business y solicitud de acceso a la API	Parcial	El *webhook* de recepción está implementado; la cuenta ante Meta no está aprobada (dependencia externa, Sección 3.11)
F0-5	Registro ante la Secretaría de Gobierno Digital para ClaveÚnica	Pendiente	Trámite no iniciado; dependencia externa estimada en 3 a 5 meses
F0-6	Borrador del SGSI y política de privacidad	Pendiente	Sin documentos publicados; la autoevaluación de seguridad del Anexo D cubre la dimensión técnica, no la documental
F0-7	Constitución de la empresa y contratos del equipo	Pendiente	Fuera del alcance técnico de esta memoria; se contabiliza para no alterar el denominador declarado

F1 — Core del Sistema (M1–M14) *Entregable: demo funcional para municipio piloto*

M1 — Portal Público Ciudadano
Incluye: expediente electrónico, consentimiento, recepción presencial (Ley 21.180 · Ley 21.719)

UC	Nombre	Actor	Complejidad
UC-01	Crear solicitud ciudadana (portal web)	Ciudadano	Complejo
UC-02	Consultar estado de solicitud por código	Ciudadano	Simple
UC-03	Consultar estado de solicitud por número + RUT	Ciudadano	Promedio
UC-04	Ver expediente electrónico completo	Ciudadano	Simple
UC-05	Descargar expediente en PDF	Ciudadano	Simple
UC-06	Descargar adjunto individual del expediente	Ciudadano	Simple
UC-07	Registrar consentimiento al crear solicitud	Ciudadano	Simple
UC-08	Revocar consentimiento *(pendiente: ver Sección 3.11)*	Ciudadano	Simple

M2 — Autenticación y Sesión
Incluye: MFA, hardening de sesión (Ley 21.663)

UC	Nombre	Actor	Complejidad
UC-09	Login funcionario (Firebase Auth)	Func. / Jef. / Admin / S.Admin	Promedio
UC-10	Ver / editar perfil de usuario	Func. / Jef. / Admin / S.Admin	Simple
UC-11	Configurar y activar MFA en cuenta de usuario	Funcionario / Admin	Promedio
UC-12	Forzar MFA en roles privilegiados (primer acceso)	Sistema	Simple
UC-13	Cerrar sesión automática por inactividad	Sistema	Simple

M3 — Gestión de Tickets (core)
Incluye: recepción presencial, digitalización de documentos (Ley 21.180)

UC	Nombre	Actor	Complejidad
UC-14	Ver bandeja de tickets asignados (Inbox)	Funcionario	Promedio
UC-15	Gestionar detalle de ticket (TicketModal)	Funcionario / Jefatura	Complejo
UC-16	Crear ticket manualmente (funcionario)	Funcionario	Promedio
UC-17	Reasignar ticket	Jef. / Admin / S.Admin	Promedio
UC-18	Aprobar / rechazar ticket	Jefatura	Promedio
UC-19	Registrar solicitud presencial y generar acuse en papel	Funcionario	Complejo
UC-20	Digitalizar documento presencial e incorporar al expediente	Funcionario	Promedio

M4 — Bandeja Funcionario

UC	Nombre	Actor	Complejidad
UC-14	Ver bandeja de tickets asignados	Funcionario	Promedio

M5 — Bandeja Jefatura

UC	Nombre	Actor	Complejidad
UC-21	Ver bandeja de toda la dirección	Jefatura	Promedio

M6 — Gestión Interna

UC	Nombre	Actor	Complejidad
UC-22	Gestión interna con filtros masivos	Jef. / Admin / S.Admin	Promedio

M7 — Dashboard, Analytics y Auditoría
Incluye: panel de auditoría, reporte OIRS/CPLT (Ley 21.180 · Ley 21.719 · Ley 21.663)

UC	Nombre	Actor	Complejidad
UC-23	Dashboard de métricas + mapa de calor tiempo real	Func. / Jef. / Admin / S.Admin	Complejo
UC-24	Consultar audit log con filtros avanzados	Admin / S.Admin	Promedio
UC-25	Exportar audit log en CSV / PDF	Admin / S.Admin	Simple
UC-26	Generar reporte OIRS en formato CPLT para un período	Admin / S.Admin	Promedio
UC-27	Exportar reporte OIRS en Excel/CSV	Admin / S.Admin	Simple

M8 — Notificaciones
Incluye: notificaciones salientes al ciudadano (Ley 21.180)

UC	Nombre	Actor	Complejidad
UC-28	Recibir y gestionar notificaciones en tiempo real	Func. / Jef. / Admin / S.Admin	Promedio
UC-29	Enviar acuse de recibo al crear solicitud	Sistema	Simple
UC-30	Notificar cambio de estado al ciudadano	Sistema	Promedio
UC-31	Notificar resolución final con acuse oficial	Sistema	Simple

M9 — Configuración: Categorías y Subcategorías

UC	Nombre	Actor	Complejidad
UC-34	CRUD Categorías y Subcategorías	Admin / S.Admin	Promedio

M10 — Configuración: Reglas de Asignación

UC	Nombre	Actor	Complejidad
UC-35	CRUD Reglas de Auto-Asignación	Admin / S.Admin	Complejo

M11 — Configuración: Usuarios Municipales

UC	Nombre	Actor	Complejidad
UC-36	Gestión de usuarios municipales	Admin / S.Admin	Complejo

M12 — Configuración: Direcciones

UC	Nombre	Actor	Complejidad
UC-37	CRUD Direcciones (departamentos)	Admin / S.Admin	Promedio

M13 — Configuración: SLA
Incluye: cálculo en días hábiles con feriados chilenos (Ley 21.180)

UC	Nombre	Actor	Complejidad
UC-32	Configurar SLA por tipo de solicitud	Admin / S.Admin	Promedio
UC-33	Calcular fecha límite SLA en días hábiles con feriados chilenos	Sistema	Simple

M14 — Configuración: Catálogos

UC	Nombre	Actor	Complejidad
UC-38	CRUD Catálogos (estados, prioridades, tipos)	Admin / S.Admin	Promedio

F2–F5 — Alcance proyectado *No implementado en esta etapa*

Las fases 2 a 5 completan el producto y se resumen aquí a nivel de módulo, sin desglose por caso de uso, porque su función en esta memoria es documentar el denominador del dimensionamiento UCP y no especificar funcionalidad construida. La Fase 3 no introduce módulos nuevos: agrega cumplimiento normativo sobre los módulos ya existentes de F1 y F2 — consentimiento y revocación en M1, MFA obligatorio y cierre por inactividad en M2, digitalización presencial en M3, panel de auditoría con exportación y reporte OIRS/CPLT en M7, notificaciones salientes al ciudadano en M8, y cálculo de SLA en días hábiles con feriados chilenos en M13.

Tabla 17: Módulos de las fases 2 a 5 y sus casos de uso

Mód.	**Módulo**	**Casos de uso**	**Dependencia externa**
F2 — Sistema Completo: primer municipio en producción con motor BPMN activo			
M15	Configuración: sectores GeoJSON	UC-39	—
M16	Bot conversacional (web)	UC-40–41	—
M17	Bot backoffice (FAQs y base de conocimiento)	UC-42	—
M18	Automatizaciones (*cron* y *triggers*)	UC-43–45	Nominatim (geocodificación)
M19	Super Admin UI	UC-46–48	—
M20	Onboarding de municipios	UC-49–50	—
M21	Canal WhatsApp	UC-51–52	Meta Cloud API (cuenta no aprobada)
M22	Billing y facturación	UC-53–55	Pasarela de pagos
M23	Motor BPMN de trámites	UC-56–64	—
F3 — Compliance integrado: sin módulos nuevos (véase el párrafo anterior)			
F4 — Módulos de integración y legales: dependen de aprobaciones externas			
M24	Integración ClaveÚnica (Ley 21.180, Ley 21.719)	UC-65	Secretaría de Gobierno Digital
M25	Firma electrónica FES/FEA (Ley 21.180)	UC-66–68	Proveedor FES/FEA acreditado
M26	Portal ARCOP ciudadano (Ley 21.719)	UC-69–73	—
M27	Detección y notificación de brechas (Ley 21.719, Ley 21.663)	UC-74	APDP y ANCI
M28	Portabilidad y anonimización (Ley 21.719)	UC-75–76	—
F5 — Interoperabilidad estatal: depende de la API del Registro Civil			
M29	Interoperabilidad estatal (Ley 21.180)	UC-77–78	Registro Civil (Domicilio Digital Único)

Anexo B — Relevamiento de canales de ingreso de solicitudes ciudadanas

Este anexo documenta el relevamiento propio de los canales que los municipios publican para recibir solicitudes, reclamos y sugerencias, y que sustenta la caracterización de la situación actual del Capítulo 1. La muestra se compone de cuatro municipios de Grupo C (uno de tipología 5, uno de tipología 4 y dos de tipología 3, de modo de cubrir las tres tipologías municipales que integran el grupo) más un caso de Grupo B incorporado como contraste de mayor presupuesto.

El relevamiento consistió en la inspección de los sitios institucionales y de los portales de trámites enlazados desde ellos, registrando el canal ofrecido para el ingreso de una solicitud, si el ciudadano recibe un identificador de caso y si puede consultar en línea el estado de tramitación. No se realizaron entrevistas ni se accedió a sistemas internos: el alcance del relevamiento es lo que cada municipio publica de cara al ciudadano, que es precisamente la

dimensión que la Ley N° 21.180 obliga a transformar.

Tabla 18: Canales de ingreso de solicitudes en los municipios de la muestra

Municipio	**Tipología / Grupo**	**Canal publicado para el ingreso de solicitudes**	**Folio y estado en línea**
Ovalle	3 / C	Formulario de contacto de la OIRS y casilla de correo electrónico; los trámites en línea se limitan a operaciones de pago (permisos de circulación, derechos de aseo, patentes) [14]	No
Angol	3 / C	Portal de trámites sobre la plataforma estatal SIMPLE, con tres trámites publicados [15]	No
Zapallar	4 / C	Trámites en línea derivados a plataformas de terceros por trámite (permisos de circulación, patentes y derechos de aseo) y solicitudes de la Dirección de Obras por formulario descargable [16]	No
María Pinto	5 / C	Formulario de Google enlazado desde el sitio institucional para consultas, reclamos, sugerencias y felicitaciones [17]	No
Valparaíso	1 / B	Seis dominios distintos con puntos de entrada a trámites: sitio institucional, dos dominios propios adicionales, portal de pagos, plataforma estatal compartida y plataforma externa de obras [18]	No

El hallazgo tiene dos partes. La primera es el problema: ninguno de los **cuatro** municipios de Grupo C entrega al ciudadano un identificador de caso consultable en línea. La segunda muestra que el problema no se resuelve solo con presupuesto: el municipio de Grupo B incorporado como contraste (de tipología 1 y con un presupuesto muy superior) tampoco lo entrega, y de hecho su dispersión es mayor, con seis dominios distintos publicando puntos de entrada. Las diferencias entre los cinco se dan en el canal de entrada (correo electrónico, formulario descargable, formulario de terceros o plataforma estatal) y no en la existencia de un expediente que enlace las actuaciones posteriores, que es lo que la Ley N° 21.180 exige y ninguno exhibe.

Estatus del relevamiento. Cuatro casos no permiten inferencia estadística sobre los 261 municipios del Grupo C, y este anexo no la pretende. El relevamiento es **ilustrativo y no representativo**: su objeto es caracterizar el punto de partida operativo del segmento (qué canal publica un municipio de cada tipología y qué obtiene el ciudadano al usarlo) y no estimar la prevalencia del problema. Se construyó con criterio de cobertura, una comuna por cada tipología del grupo más un contraste de Grupo B, y se limita a lo observable desde los sitios institucionales públicos.

Anexo C — Repositorios de código y estado de referencia

El sistema descrito en el Capítulo 3 es la evidencia primaria de este trabajo. Se implementa en dos repositorios independientes, alojados en GitHub bajo la organización `civora-app`:

Tabla 19: Repositorios del sistema y *commits* de referencia

Repositorio	**Contenido**	**Rama / *commit***	**Tecnología**
`civora-app/api-backend`	API REST sobre Cloud Functions: controladores, servicios y repositorios de los 15 módulos de dominio del *backend* (granularidad de código, que no coincide con los 29 módulos de producto del catálogo de este anexo), reglas de seguridad de Firestore y Storage, procesos programados y semillas de datos	`develop` `fed4437` 24-sep-2026	Node.js, TypeScript, Express, Firebase Admin SDK
`civora-app/civora`	Aplicación web: portal público de seguimiento, formulario de ingreso ciudadano y presencial, bandejas de funcionario y panel de administración	`develop` `69b224e` 24-sep-2026	React, Vite, Zustand

Acceso. Ambos repositorios son **privados**, por tratarse del código de un producto en desarrollo comercial. Los *commits* indicados en la tabla fijan el estado exacto del sistema en materia de seguridad (Anexo D): cualquier verificación de la remediación de septiembre debe hacerse contra ellos. El contenido funcional descrito en los Capítulos 3 y 4 se redactó y debe verificarse contra el *commit* inmediatamente anterior de cada repositorio (`1010748` / `f7563a6`, citado en la nota de la Tabla 19), no contra la rama en evolución ni contra el *commit*

de remediación de seguridad, que no modifica ese contenido pero tampoco lo re-verifica.

Organización del código del backend. La API se estructura por módulos de dominio (`tickets`, `ciudadanos`, `users`, `audit`, `email`, `notifications`, `catalogs`, `categorias`, `sectores`, `direcciones`, `configuracion`, `dashboard`, `auth`, `clave-unica` y `reglas-asignacion`), cada uno con la tripleta controlador, servicio y repositorio descrita en la Sección 2.4. Los esquemas de validación y los tipos compartidos residen en un directorio transversal, y las reglas de seguridad de Firestore y Storage se versionan junto al código.

Organización del código del frontend. La aplicación separa páginas, componentes reutilizables, servicios de acceso a la API, estado global y utilidades. El portal público de seguimiento y los dos flujos de ingreso (ciudadano y presencial) son páginas independientes que comparten los servicios de acceso a la API.

Anexo D — Seguridad: autoevaluación de agosto y revisión independiente de septiembre 2026

Naturaleza y alcance. Esta memoria documenta dos pasadas de seguridad sobre el mismo sistema, separadas por un mes. La primera (Fase 1, agosto de 2026) es una **autoevaluación dirigida por el autor y ejecutada con *Claude Code***, no una auditoría externa ni una certificación. La segunda (Fase 2, 23–24 de septiembre de 2026) es una **revisión de código independiente**, hecha sobre el *commit* exacto que el Anexo C cita como referencia, y encontró hallazgos (incluido uno crítico) que la autoevaluación de agosto no había detectado. Ambas se documentan aquí con su metodología y resultados completos, y la segunda se presenta explícitamente como una corrección de cobertura de la primera, no como una simple actualización: el patrón de que un segundo revisor encuentre lo que el autor-evaluador único no vio es, en sí mismo, información relevante sobre los límites de una autoevaluación de un solo autor, y se documenta con esa lectura en vez de sin ella.

Herramientas. Las dos pasadas se realizaron con *Claude Code* (modelo Claude Opus) y la *skill Open Code Review* (`https://github.com/alibaba/open-code-review`). Ambas son, por tanto, revisiones asistidas por un modelo de lenguaje: "independiente" describe que la Fase 2 no fue la autoevaluación del autor, no que la haya realizado una persona ajena al proyecto, y ninguna reemplaza una auditoría humana ni una certificación.

Fase 1 — Metodología (agosto 2026). La revisión se organizó en pasadas sucesivas, cada una sobre una superficie distinta del sistema, sobre el código de ambos repositorios y sobre las reglas de seguridad de Firestore y Storage. Cada hallazgo recibió un identificador, una clasificación de severidad (crítico, alto, moderado) y una resolución verificable en el código. Las pasadas fueron: (1) revisión inicial de autenticación, autorización y exposición de endpoints; (2) escalamiento de privilegios; (3) revisión sistémica de aislamiento entre municipios; (4) superficies del bot conversacional, los procesos programados y las preguntas frecuentes; (5) revisión final del acceso al modelo de lenguaje, la auditoría y los almacenes; y (6) verificación

de calidad sobre las correcciones de la segunda pasada.

Tabla 20: Hallazgos de la autoevaluación de seguridad por pasada

Pasada	Hallazgos	Resueltos	Pendientes
1. Revisión inicial (autenticación, autorización, exposición)	15	11	4
2. Escalamiento de privilegios	4	4	0
3. Aislamiento entre municipios (sistémica)	7	6	0
4. Bot conversacional, procesos programados y FAQs	4	3	1
5. Acceso al modelo de lenguaje, auditoría y almacenes	1	1	0
6. Verificación de calidad sobre correcciones previas	2	2	0
Total	**33**	**27**	**5**

Hallazgos resueltos destacados. Entre los críticos: endpoints de depuración del modelo de lenguaje accesibles sin autenticación (eliminados); adjuntos publicados con acceso público (reemplazados por URLs firmadas con vigencia de 15 minutos); nombres de archivo sin sanitizar (validación de extensión contra tipo MIME y truncado); reglas de Firestore que permitían escritura directa a la colección de tickets (denegada en cliente); auto-promoción de rol a través del endpoint de actualización (bloqueada por verificación de identidad del actor); seguimiento público sin filtro de municipio (el identificador de municipio pasó a formar parte de la ruta); endpoint de configuración sin verificación de rol; y router de preguntas frecuentes completamente público (movido tras autenticación y aislamiento por tenant). Entre los de severidad alta y moderada: manipulación de roles entre municipios, proceso programado de vencimientos de SLA sin paginación, lectores sin verificación de tenant, y datos personales persistidos en el almacenamiento local del navegador (eliminados, con hidratación del estado desde la sesión).

Hallazgos pendientes (estado a agosto 2026). Cuatro de los cinco pendientes comparten un mismo bloqueador: la decisión de diseño sobre autenticación del ciudadano, prevista para más adelante. El quinto es de naturaleza distinta (una decisión de manejo de credenciales) y se declara aquí precisamente porque no comparte ese bloqueador. La Tabla 21 refleja el estado **tal como se documentó en agosto**; su resolución real, encontrada y verificada en la revisión de septiembre, se documenta más abajo.

Tabla 21: Hallazgos pendientes de la autoevaluación y su bloqueador

ID	Severidad	Hallazgo	Bloqueado por
C2	Crítico	El endpoint del bot conversacional opera sin autenticación, lo que permite crear solicitudes en cualquier municipio y consumir el modelo de lenguaje	Decisión de autenticación ciudadana
3P-1	Crítico	El servicio de solicitudes del bot toma el identificador de municipio de la petición, de modo que la falta de autenticación de C2 se materializa en creación de solicitudes en cualquier municipio	Subordinado a C2
A1	Alto	El seguimiento público no tiene límite de tasa: un RUT secuencial permite enumeración	Se depreca al existir sesión ciudadana
A4	Alto	Una credencial de servicio queda persistida en el entorno de desarrollo, pendiente de traslado a un gestor de secretos	Decisión de manejo de credenciales; no depende de la Fase 2
M5	Moderado	La política de orígenes cruzados del bot acepta peticiones sin origen declarado	Se cierra junto con C2

Cuatro de los cinco pendientes se concentran en el canal ciudadano no autenticado y, según se creía en agosto, ninguno afectaba al expediente electrónico ni a su registro de auditoría. La revisión de septiembre, más abajo, revisa esa lectura: A4 en particular resultó ser más grave y de alcance más amplio de lo que su descripción de agosto sugiere.

Fase 2 — Revisión independiente de código (23–24 de septiembre de 2026). A diferencia de la Fase 1, esta revisión no fue realizada por el autor evaluando su propio sistema: fue encargada como una revisión de código independiente, con alcance declarado (`api-backend/functions/src` y `civora/src`), método explícito (revisión estática solo de código fuente, sin sistemas desplegados sondeados ni código ejecutado; cinco pasadas paralelas enfocadas en autenticación/sesión, autorización/IDOR, bot y entrada externa, frontend, CI/CD y dependencias, cada hallazgo re-verificado de forma independiente por inspección directa del código fuente antes de incluirse) y trazabilidad completa (archivo y línea citados para cada hallazgo). Se ejecutó sobre `api-backend` y `civora` en los *commits* exactos que el Anexo C cita como referencia, no sobre una versión posterior que esta memoria no hubiera podido conocer, sino sobre el mismo código que el resto del documento usa como evidencia.

Tabla 22: Hallazgos de la revisión independiente por severidad

#	Severidad	Hallazgo
1	Crítico	Secreto de firma de sesión ciudadana con valor de respaldo hardcodeado en el código fuente; confirmado sin configurar en el entorno de producción
2	Crítico	Caché de token de autenticación del bot compartido entre municipios (variable de módulo no indexada por `municipalityId`)
3	Alto	Endpoint `/bot/message` sin autenticación alguna, alcanzable públicamente
4	Alto	Escritura cross-tenant en `PATCH /subcategorias/:id` y `/:id/estado`
5	Alto	Escritura cross-tenant en `PATCH /catalogs/:id`
6	Alto	Llamadas ilimitadas y facturables al modelo de lenguaje desde el endpoint sin autenticar
7	Moderado	IDOR de clave foránea cross-tenant en tickets y reglas de asignación
8	Moderado	`PATCH /tickets/:id` y `/redireccion` sin verificación de rol
9	Moderado	Consulta de ticket del bot (número + RUT) sin límite de tasa, vulnerable a fuerza bruta
10	Bajo–Moderado	RUT del ciudadano expuesto en la URL del portal público de seguimiento
11	Bajo	Analítica del panel de administración sin verificación de rol
12	Bajo	Superficie de inyección de *prompt* en el bot (contenida: sin *tool-calling*)
13	Bajo	`responsableActualId` aceptado sin validar existencia ni tenant
14	Informativo	Credencial de WhatsApp vigente sin uso en el código, más *verify-token* débil
15	Informativo	Acción de GitHub fijada a una etiqueta de versión mayor, no a un *commit*

Correspondencia con los pendientes de la Fase 1. El hallazgo #3 de la Fase 2 es, verificado línea por línea, el mismo hallazgo que C2 de la Fase 1: el endpoint del bot sin autenticación. La autoevaluación de agosto lo describió correctamente. El hallazgo #2, en cambio, revela que el modelo causal de 3P-1 (*"subordinado a C2"*) estaba incompleto: existe una segunda causa raíz, independiente de la autenticación, que habría seguido provocando creación de solicitudes en el municipio equivocado aunque C2 se hubiera cerrado agregando solo un mecanismo de autenticación. A4 corresponde al hallazgo #1: la "credencial de servicio persistida en el entorno de desarrollo" de agosto era, en realidad, un secreto de firma hardcodeado en

el código fuente que firmaba sesiones ciudadanas para cualquier municipio, confirmado sin configurar en producción, una descripción considerablemente más grave que la de agosto, y el hallazgo más severo de los dos informes combinados. A1 no fue cerrado por esta revisión (se detalla abajo). M5 no fue re-auditado de forma independiente en septiembre (la revisión de CI/CD y dependencias no incluyó una revisión de la política CORS del bot); su cierre sigue apoyado únicamente en la dependencia declarada en agosto ("se cierra junto con C2"), no en verificación de septiembre.

Remediación. De los 15 hallazgos de la Fase 2, 14 recibieron corrección de código (el #12 se evaluó y se dejó sin cambios: la ausencia de *tool-calling* en las llamadas al modelo de lenguaje acota su explotabilidad a texto devuelto a la propia sesión del ciudadano, sin acceso a datos de terceros). La mayoría de las correcciones reutiliza un mecanismo ya existente en el código base (`assertSameTenant`, `requireRole`, el patrón `getByIdScoped`); el código genuinamente nuevo se limita a tres piezas puntuales: un caché por municipio (`Map`), un *middleware* de secreto compartido con verificación de tiempo constante, y una dependencia nueva (`express-rate-limit`) para el límite de tasa. Se agregaron 27 pruebas nuevas para las rutas de código corregidas. El autor de esta memoria recompiló y volvió a ejecutar la suite de pruebas completa tras la corrección, de forma independiente de lo declarado en el informe de remediación: `api-backend` pasa sus 213 pruebas (186 preexistentes más las 27 nuevas, cero regresiones) y compila sin errores de tipos (`tsc --noEmit`); `civora` pasa sus 135 pruebas preexistentes sin cambios y compila su *build* de producción sin errores nuevos. Ambas correcciones quedaron comiteadas en los *commits* de referencia actualizados del Anexo C.

Dos acciones operacionales quedan fuera del alcance de un *commit* de código y no se scriptearon desde este repositorio: aprovisionar `CLAVE_UNICA_SESSION_SECRET` y `BOT_RELAY_SHARED_SECRET` en el entorno de Cloud Functions desplegado, y actualizar el servicio de relay de WhatsApp para enviar el nuevo encabezado de secreto compartido. Sin la primera, el hallazgo #1 (el más grave de ambos informes) permanece explotable en cualquier despliegue hecho a partir de un *commit* anterior a esta remediación, independientemente de lo que el código en el repositorio ya diga.

Tabla 23: Estado final de los pendientes de la Fase 1

ID (agosto)	**Corresponde a**	**Estado a septiembre 2026**	**Verificación**
C2	Fase 2, #3	Resuelto: secreto compartido con verificación de tiempo constante, límite de tasa (20 solicitudes/min) y límite de tamaño de *body*	213/213 pruebas, incluidas 3 nuevas específicas para este hallazgo
3P-1	Fase 2, #2	Resuelto: caché de token migrado a un mapa indexado por municipio (causa raíz separada de C2, no cerrada solo con autenticación)	1 prueba nueva específica
A1	Fase 2, #9 y #10 (parcial)	**Parcialmente mitigado.** El canal del bot ahora limita a 20 solicitudes/min. El endpoint público directo de consulta de tickets sigue sin límite de tasa a nivel de aplicación ni de infraestructura (confirmado: el proyecto nunca tuvo App Check ni Cloud Armor configurados)	Sin verificación de límite de tasa en el endpoint público directo, sigue pendiente
A4	Fase 2, #1	Resuelto: el secreto ya no cae a un valor de respaldo público; falla al primer uso si no está configurado	3 pruebas nuevas específicas
M5	No re-auditado	Sin verificación independiente en septiembre; su cierre depende únicamente de la dependencia declarada en agosto (“se cierra junto con C2”)	No verificado

De los cinco pendientes de agosto, tres quedan resueltos y verificados de forma independiente (C2, 3P-1, A4); la severidad real de A4 resultó ser mayor a la originalmente estimada, porque el hallazgo que lo originaba (#1) era una vulnerabilidad de suplantación de sesión ciudadana entre municipios, no una simple credencial de desarrollo mal ubicada. Uno (A1) sigue parcialmente pendiente, y uno (M5) no fue re-auditado de forma independiente en septiembre, por lo que su cierre no está verificado más allá de la dependencia declarada en agosto. Ninguno de los quince hallazgos de la Fase 2 compromete el modelo de datos, la máquina de estados ni el registro de auditoría de solo agregado que son el objeto central de esta memoria; los hallazgos #1 y #2, los más graves, afectan específicamente a la autenticidad e integridad del expediente (R9, Capítulo 4): la sesión ciudadana *mock* y el canal del bot, respectivamente.

Anexo E — Salida del instrumento de prueba de carga

Objeto. Este anexo reproduce la salida completa de la corrida sobre la cual se construyen la Tabla 13 y la Tabla 14 del Capítulo 4. Se incluye porque el instrumento de carga es el más cuestionable de los tres empleados (mide contra emuladores y no contra el servicio administrado) y es, por tanto, aquel cuya evidencia primaria conviene poner a disposición del lector en lugar de resumirla.

Instrumento. `functions/src/loadtest/load-test.ts` en el repositorio `api-backend` del Anexo C, en el *commit* de referencia allí indicado. La fase de detección de vencimientos de SLA no está duplicada en el instrumento: éste invoca `detectarVencimientos()`, la misma función que ejecuta el proceso programado, de modo que ambos no pueden desincronizarse.

Comando Ejecutado desde el directorio `api-backend/`:

```
firebase emulators:exec --only firestore,auth --project
demo-civora-load    çd functions && npx ts-node src/seed/seed-all.ts
--municipality=muni-test-001 --yes      && npx ts-node
src/loadtest/load-test.ts"
```

Cómo leer la rampa. La columna `ops` es el número de operaciones lanzadas en el nivel y `n (P95)` el número de operaciones **exitosas**, que son las únicas sobre las que se calculan la P95 y la mediana. La distinción importa: en el nivel de 200 solicitudes concurrentes sobrevivieron 2 operaciones, de modo que la P95 publicada para ese nivel es el mayor de dos valores y no un percentil.

```
[0] Solicitudes preexistentes de las semillas: 41
[0] Poblando la base (600 tickets, concurrencia 8)...
    creados=547/600  fallos=53  (concurrencia 8)

[1] Creación de ticket - rampa de concurrencia (max(100, nivel) operaciones por nivel):
    conc.   ops    n (P95)  P95         mediana     errores
    1       100    100      0.017 s     0.015 s     0.0 %
    5       100    100      3.262 s     0.016 s     0.0 %
    10      100    100      6.920 s     0.016 s     0.0 %
    25      100    75       10.926 s    0.017 s     25.0 %
    50      100    100      7.335 s     2.665 s     0.0 %
    100     100    100      12.240 s    6.652 s     0.0 %
    200     200    2        21.693 s    2.417 s     99.0 %

======== RESULTADOS PRUEBA DE CARGA ========
  Primer nivel con P95 sobre el umbral de 2 s    5 concurrentes
  P95 creación (5 concurrentes)                  3.262 s  (n=100, errores 0.00 %)
  P95 creación (50 concurrentes)                 7.335 s  (n=100, errores 0.00 %)
  Punto de saturación (error > 1 %)              25 solicitudes concurrentes
  P95 consulta (100 concurrentes)                0.121 s  (n=1000, errores 0.00 %)

[3] Fechas límite retrodatadas en 500 solicitudes para el detector de SLA.
  Detección de vencimientos de SLA               0.032 s
      (504 documentos leídos en 2 lote(s), cutoff=150 min)
    candidatos tras descartar estados terminales 503 en 1 municipio(s)
        (sembrados=500, abortada=false)
```

```
  Colisiones de folio (1.000 simultáneos)        0 colisiones en 1166 folios emitidos
    creados / rechazados en esa ráfaga
        1 creados, 999 rechazados sin emitir folio (delta=1)
    origen de los folios
        semillas 41 + carga previa 547 + rampa 577 + ráfaga 1 = 1166
    cuadratura                                   cuadra con los 1166 emitidos
  Continuidad del correlativo
      contador=1166, máximo folio=1166, folios distintos=1166 -> sin saltos
==========================================
```

Nota sobre la línea "Punto de saturación". El instrumento imprime una línea rotulada `Punto de saturación (error >1 %)` con el valor `25 solicitudes concurrentes`. Es una etiqueta del programa, que reporta el primer nivel de *esta* corrida cuya tasa de error superó el 1 %, y **no un resultado que el Capítulo 4 adopte**: como allí se documenta, la tasa de error de cada nivel intermedio no es reproducible entre corridas, y tampoco lo es la frontera a partir de la cual aparece. La salida se reproduce sin alterarla (incluida esa línea) porque el valor de este anexo depende de que sea una transcripción literal de lo que el instrumento emitió, y no una selección de lo que conviene al argumento.

Anexo F — Instrumento de validación por juicio de expertos

Objeto. Este anexo describe el instrumento de la validación complementaria por juicio de expertos (Sección 4.5): qué se pregunta, a quiénes y bajo qué encuadre. Los resultados no se incluyen en esta memoria, como se declara en esa sección.

Contenido del documento enviado a los revisores. El documento se estructura en cuatro partes: (1) propósito de la revisión y qué se le pide al revisor; (2) descripción del problema y de Munia en lenguaje no técnico, con capturas de pantalla del sistema en operación (ingreso de una solicitud, bandeja de trabajo del funcionario, detalle de un ticket con su trazabilidad, y portal público de seguimiento), la tabla de los diez requisitos derivados de la Ley N° 21.180 y el Decreto 4/2021 con su estado de cobertura (versión simplificada de la Tabla 8), y las funcionalidades adicionales no exigidas por la norma; (3) el plan de puesta en marcha en un municipio, con sus etapas, responsables y duraciones, y las dependencias externas no resueltas (Casilla Única y habilitación de WhatsApp Business); (4) una encuesta breve, en la que el revisor indica qué le parece correcto, qué no, y qué falta, con la opción de autorizar el uso anónimo de sus respuestas o de solicitar que se le cite con nombre y cargo.

Encuadre explícito de lo que se evalúa. El documento aclara que no se evalúa un sistema en operación en el municipio del revisor, sino el diseño y el plan: si tienen sentido para un municipio de las características del segmento objetivo.

Resultados. Se realizó la gestión de envío del instrumento a revisores, pero sus resultados no se incluyen en esta memoria por requerir más tiempo para obtener las respuestas y procesarlas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Chile. Ministerio Secretaría General de la Presidencia, "Ley N° 21.180 de Transformación Digital del Estado," Nov. 2019, biblioteca del Congreso Nacional. Disponible en: https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1138479. [Consultado: 2 de septiembre de 2026].

[2] ——, "Decreto 4 (2021): Reglamento que regula la forma en que los procedimientos administrativos deberán expresarse a través de medios electrónicos," 2021, biblioteca del Congreso Nacional. Disponible en: https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1169585. [Consultado: 2 de septiembre de 2026].

[3] ——, "DFL N° 1 (2021): Gradualidad de aplicación de la Ley N° 21.180," 2021, ministerio Secretaría General de la Presidencia. Disponible en: https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1157806. [Consultado: 2 de septiembre de 2026].

[4] ——, "Ley N° 21.464: Modifica la Ley N° 21.180 sobre Transformación Digital del Estado y establece una nueva gradualidad de implementación," 2022, biblioteca del Congreso Nacional. Disponible en: https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1177223. [Consultado: 2 de septiembre de 2026].

[5] Mirada FEN, Universidad de Chile, "Avances en la transformación digital en Chile: ¿cómo va el sector público? (IMTD 2024)," 2024, disponible en: https://mirada.fen.uchile.cl/articulo/ver/avances-en-la-transformacion-digital-en-chile-como-va-el-sector-el-sector-publico. [Consultado: 2 de septiembre de 2026].

[6] T. Janowski, "Digital government evolution: From transformation to contextualization," *Government Information Quarterly*, vol. 32, no. 3, pp. 221–236, 2015.

[7] J. I. Criado and J. R. Gil-Garcia, "Creating public value through smart technologies and strategies: From digital services to artificial intelligence and beyond," *International Journal of Public Sector Management*, vol. 32, no. 5, pp. 438–450, 2019.

[8] B. Epstein, "Two decades of e-government diffusion among local governments in the United States," *Government Information Quarterly*, vol. 39, no. 2, p. 101665, 2022.

[9] N. Su, F. Jia, S. L. Pan, and C. Hsu, "ICTs and Rural E-Governance: From Digital Design to Public Policy," *Information Systems Journal*, vol. 36, no. 3, pp. 350–363, 2026.

[10] J. González Alonso, "Diseño de un modelo de madurez de transformación digital municipal que permita abordar lo establecido en la Ley 21.180," 2021, memoria de título, Ingeniería Civil Industrial, Universidad de Chile. Disponible en: https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/181400. [Consultado: 23 de septiembre de 2026].

[11] B. González-Bustamante, A. Carvajal, and A. González, "Determinantes del gobierno electrónico en las municipalidades. Evidencia del caso chileno," *Gestión y Política Pública*, vol. 29, no. 1, pp. 97–129, 2020.

[12] Chile. Ministerio del Interior, "Decreto Supremo N° 680 (1990): Aprueba instrucciones para el establecimiento de oficinas de información para el público usuario en la Administración del Estado," Oct. 1990, biblioteca del Congreso Nacional. Origen normativo de las Oficinas de Información, Reclamos y Sugerencias (OIRS). Disponible en: https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=15058. [Consultado: 2 de septiembre de 2026].

[13] SUBDERE, "Resolución N° 15 FIGEM 2023," 2023, sistema Nacional de Información Municipal. Disponible en: https://www.sinim.gov.cl/desarrollo_local/figem/archivos/Res_15_FIGEM_2023.pdf. [Consultado: 2 de septiembre de 2026].

[14] Municipalidad de Ovalle, "Oficina de Información, Reclamos y Sugerencias y trámites en línea," 2026, sitio institucional. Disponible en: https://muniovalle.gob.cl/. [Consultado: 2 de septiembre de 2026].

[15] Municipalidad de Angol, "Portal de trámites municipales sobre la plataforma SIMPLE," 2026, disponible en: https://angol.municipalidad.digital.gob.cl/. [Consultado: 2 de septiembre de 2026].

[16] Municipalidad de Zapallar, "Trámites en línea y solicitudes de la Dirección de Obras Municipales," 2026, sitio institucional. Disponible en: https://www.munizapallar.cl/tramites-en-linea y https://www.munizapallar.cl/dom-solicitudes. [Consultado: 3 de septiembre de 2026].

[17] Municipalidad de María Pinto, "Oficina de Informaciones, Reclamos y Sugerencias," 2026, sitio institucional. Disponible en: https://mpinto.cl/. [Consultado: 2 de septiembre de 2026].

[18] Municipalidad de Valparaíso, "Portal de Trámites Municipales," 2024, portal de trámites del sitio institucional. Disponible en: https://municipalidaddevalparaiso.cl/tramites/. [Consultado: 3 de septiembre de 2026].

[19] Chile. Ministerio Secretaría General de la Presidencia, "Ley N° 19.880: Establece bases de los procedimientos administrativos que rigen los actos de los órganos de la Administración del Estado," May 2003, biblioteca del Congreso Nacional. Disponible en: https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=210676. [Consultado: 2 de septiembre de 2026].

[20] ——, "Ley N° 20.285 sobre Acceso a la Información Pública," Aug. 2008, biblioteca del Congreso Nacional. Disponible en: https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=276363. [Consultado: 2 de septiembre de 2026].

[21] Consejo para la Transparencia (CPLT), "Informe de Fiscalización de Cumplimiento: Municipalidades 2025," Consejo para la Transparencia, Unidad de Fiscalización, Tech. Rep., Oct. 2025, disponible en: https://staticcl1.fidelizador.com/cptcomunica/Informe%20Municipalidades%202025.pdf. [Consultado: 2 de septiembre de 2026].

[22] Secretaría de Gobierno Digital, "SIMPLE: Plataforma de Trámites Digitales del Estado de Chile," 2024, disponible en: https://simple.gob.cl/. [Consultado: 2 de septiembre de 2026].

[23] ——, "Guía Técnica de Notificaciones (Casilla Única / Domicilio Digital Único)," 2024, wiki Guías. Disponible en: https://wikiguias.digital.gob.cl/guias/guia-tecnica-notificaciones. [Consultado: 2 de septiembre de 2026].

[24] SUBDERE, "Sistema Nacional de Información Municipal (SINIM)," 2024, disponible en: https://www.subdere.gov.cl/programas/division-municipalidades/sistema-nacional-de-informacion-municipal-sinim. [Consultado: 2 de septiembre de 2026].

[25] Ministerio de Hacienda, "Medición de Satisfacción Usuaria (MESU)," 2024, secretaría de Modernización del Estado, Ministerio de Hacienda. Cubre instituciones del Gobierno Central; no incluye municipalidades. Disponible en: https://satisfaccion.gob.cl/. [Consultado: 2 de septiembre de 2026].

[26] Secretaría de Gobierno Digital, "SIMPLE: Preguntas Frecuentes," 2024, disponible en: https://simple.gob.cl/ayuda/preguntas-frecuentes/. [Consultado: 2 de septiembre de 2026].

[27] B. Roseth, A. Reyes, and C. Santiso, *El fin del trámite eterno: ciudadanos, burocracia y gobierno digital*. Banco Interamericano de Desarrollo, 2018, disponible en: https://publications.iadb.org/en/wait-no-more-citizens-red-tape-and-digital-government.

[28] Chile. Ministerio de Hacienda, "Resolución Exenta N° 969 (2026): Términos y condiciones de uso de la Plataforma Casilla Única," Jan. 2026, biblioteca del Congreso Nacional. Disponible en: https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1220536. [Consultado: 2 de septiembre de 2026].

[29] E. A. Bautista Villegas, J. J. Valles Paz, H. Collantes Chulés, N. E. Casildo Bedón, and J. E. Sánchez Calle, "Arquitectura multi-tenant para la implementación de un software como servicio y su influencia en la usabilidad de las MYPES del sector comercio del nororiente peruano," *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, vol. 32, no. 1, pp. art. 5, 11 pp., 2024, disponible en: https://www.scielo.cl/pdf/ingeniare/v32/0718-3305-ingeniare-32-5.pdf. [Consultado: 2 de septiembre de 2026].

[30] R. T. Fielding, "Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures," Ph.D. dissertation, University of California, Irvine, 2000, disponible en: https://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/top.htm.

[31] M. Fowler, *Patterns of Enterprise Application Architecture*. Boston, MA: Addison-Wesley, 2002.

[32] N. Sakimura, J. Bradley, M. Jones, B. de Medeiros, and C. Mortimore, "OpenID Connect Core 1.0 incorporating errata set 2," Dec. 2023, openID Foundation. Disponible en: https://openid.net/specs/openid-connect-core-1_0.html.

[33] V. Vaishnav and G. O. Nathan, "Need of retrieval augmented generation for conversational assistants for government social welfare scheme popularization," *International Journal of Science and Research Archive*, vol. 13, no. 1, pp. 1299–1312, 2024.

[34] Government Technology Agency of Singapore (GovTech), "AIBots," 2025, disponible en: https://www.tech.gov.sg/products-and-services/for-government-agencies/productivity-and-marketing/aibots/. [Consultado: 2 de septiembre de 2026].

[35] K. Kent and M. Souppaya, "Guide to Computer Security Log Management," National Institute of Standards and Technology, NIST Special Publication 800-92, Sep. 2006, dOI: 10.6028/NIST.SP.800-92.

[36] B. Schneier and J. Kelsey, "Secure audit logs to support computer forensics," *ACM Transactions on Information and System Security*, vol. 2, no. 2, pp. 159–176, May 1999.

[37] S. Nakamoto, "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System," 2008, disponible en: https://bitcoin.org/bitcoin.pdf.

[38] Municipalidad de Providencia, "Portal SIAV: Sistema de Atención al Vecino," 2024, disponible en: https://dac.providencia.cl/portalVecinoDav. [Consultado: 2 de septiembre de 2026].

[39] Municipalidad de Vitacura, "UNE Vitacura: ingreso de requerimientos a un clic de distancia," 2026, disponible en: https://vitacura.cl/noticias/une-vitacura-ingreso-de-requerimientos-a-un-clic-de-distancia/. [Consultado: 22 de septiembre de 2026].

[40] ——, "Cuenta Pública 2025," 2026, disponible en: https://vitacura.cl/app/uploads/2026/04/Cuenta-Publica-2025.pdf. [Consultado: 2 de septiembre de 2026].

[41] Municipalidad de Huechuraba, ""Patente en un díaza está en otros municipios," 2026, disponible en: https://huechuraba.cl/sala-de-prensa/1668/detalle/patente-en-un-dia-ya-esta-en-otros-municipios. [Consultado: 2 de septiembre de 2026].

[42] Municipalidad de Ñuñoa, "Ñuñoa Atiende: Portal de Atención al Vecino," 2024, disponible en: https://nunoa.atencionalvecino.cl/frontoffice/. [Consultado: 2 de septiembre de 2026].

[43] CAS-CHILE, "Vecino Digital: Módulo de Atención Ciudadana," 2024, disponible en: https://www.caschile.cl/soportedigital/. [Consultado: 2 de septiembre de 2026].

[44] Tu Municipio, “Tu Municipio: Plataforma SaaS para municipios,” 2024, disponible en: https://tumunicipio.cl/. [Consultado: 2 de septiembre de 2026].

[45] IUSLEAD, “IA para Municipalidades: Atención ciudadana,” 2026, disponible en: https://iuslead.com/municipalidades/. [Consultado: 23 de septiembre de 2026].

[46] K. Layne and J. Lee, “Developing fully functional E-government: A four stage model,” *Government Information Quarterly*, vol. 18, no. 2, pp. 122–136, 2001.

[47] M. Gascó-Hernández, “Reflections on three decades of digital transformation in local governments,” *Local Government Studies*, vol. 50, no. 6, pp. 1028–1040, 2024.

[48] G. Concha and A. Naser, “El gobierno electrónico en la gestión pública,” CEPAL, ILPES, Serie Gestión Pública LC/L.3313-P, 2011, disponible en: https://repositorio.cepal.org/handle/11362/7330. [Consultado: 23 de septiembre de 2026].

[49] A. Meijer, “Electronic Records Management and Public Accountability: Beyond an Instrumental Approach,” *The Information Society*, vol. 17, no. 4, pp. 259–270, 2001.

[50] M. Anshari and S. A. Lim, “E-Government with Big Data Enabled through Smartphone for Public Services,” *International Journal of Public Administration*, vol. 40, no. 13, pp. 1143–1158, 2017.

[51] A. Barros, “Ley 21.180 (Transformación Digital): ¿cumpliremos el 2027?” 2026, disponible en: https://www.alejandrobarros.com/ley-21-180-cumpliremos-el-2027/. [Consultado: 2 de septiembre de 2026].

[52] Chile. Ministerio Secretaría General de la Presidencia, “Ley N° 21.719: Regula la protección y el tratamiento de los datos personales y crea la Agencia de Protección de Datos Personales,” Dec. 2024, biblioteca del Congreso Nacional. Entrada en vigencia: 1 de diciembre de 2026. Disponible en: https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1209272. [Consultado: 2 de septiembre de 2026].

[53] Chile. Ministerio del Interior y Seguridad Pública, “Ley N° 21.663: Ley Marco de Ciberseguridad,” Mar. 2024, biblioteca del Congreso Nacional. Las disposiciones pertinentes rigen desde el 1 de marzo de 2025. Disponible en: https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1202434. [Consultado: 2 de septiembre de 2026].

[54] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, “Reportes Estadísticos Comunales 2025,” 2025, sistema Integrado de Información Territorial. Datos de población del Censo de Población y Vivienda 2024, Instituto Nacional de Estadísticas. Disponible en: https://www.bcn.cl/siit/reportescomunales/. [Consultado: 2 de septiembre de 2026].

GLOSARIO

ANCI: Agencia Nacional de Ciberseguridad.
API: *Application Programming Interface*.
BCN: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.
CORS: *Cross-Origin Resource Sharing*.
CPLT: Consejo para la Transparencia.
CSIRT Nacional: *Computer Security Incident Response Team* Nacional.
CSRF: *Cross-Site Request Forgery*.
CSS: *Cascading Style Sheets*.
CSV: *Comma-Separated Values*.
DDU: Domicilio Digital Único.
DFL: Decreto con Fuerza de Ley.
DOM: Dirección de Obras Municipales.
ERP: *Enterprise Resource Planning*.
FAQ: *Frequently Asked Questions*.
FIGEM: Fondo de Incentivo al Mejoramiento de la Gestión Municipal.
HTTP: *Hypertext Transfer Protocol*.
HTTPS: *Hypertext Transfer Protocol Secure*.
IdP: *Identity Provider*.
IMTD: Índice de Madurez en Transformación Digital.
ITA: Índice de Transparencia Activa.
JSON: *JavaScript Object Notation*.
LLM: *Large Language Model*.
MESU: Medición de Satisfacción Usuaria.
MIME: *Multipurpose Internet Mail Extensions*.
NoSQL: *Not Only SQL*.
OIDC: *OpenID Connect*.
OIRS: Oficina de Información, Reclamos y Sugerencias.
RAG: *Retrieval-Augmented Generation*.
REST: *Representational State Transfer*.
RUT: Rol Único Tributario.
SaaS: *Software as a Service*.
SIAV: Sistema de Atención al Vecino.
SINIM: Sistema Nacional de Información Municipal.
SLA: *Service Level Agreement*.
SUBDERE: Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo.
SUS: *System Usability Scale*.
TI: Tecnologías de la Información.
UI: *User Interface*.
URL: *Uniform Resource Locator*.
WCAG: *Web Content Accessibility Guidelines*.