



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**FACULTAD DE INFORMÁTICA, CIENCIAS DE LA
COMPUTACIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA**

CARRERA DE SOFTWARE

**Desarrollo de arquitecturas de microservicios escalables y resilientes
aplicados a las MIPYMES de la ciudad de AZOGUES**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCION DEL
TITULO DE INGENIERA DE SOFTWARE**

AUTORA: DORIS VICTORIA SIBRI ORTIZ

DIRECTORA: BLANCA LUCIA ÁVILA CORREA, MGS.

CUENCA - ECUADOR 2025

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**FACULTAD DE INFORMÁTICA, CIENCIAS DE LA
COMPUTACIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA
CARRERA DE SOFTWARE**

**Desarrollo de arquitecturas de microservicios escalables y resilientes
aplicados a las MIPYMES de la ciudad de AZOGUES**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCION DEL
TITULO DE INGENIERA DE SOFTWARE**

AUTORA: DORIS VICTORIA SIBRI ORTIZ

DIRECTORA: BLANCA LUCIA ÁVILA CORREA, MGS.

CUENCA - ECUADOR

2025

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

**DECLARATORIA DE AUTORÍA**

Doris Victoria Sibri Ortiz portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0302508726**. Declaro ser el autor de la obra: **“DESARROLLO DE ARQUITECTURAS DE MICROSERVICIOS ESCALABLES Y RESILIENTES APLICADOS A LAS MIPYMES DE LA CIUDAD DE AZOGUES”**, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, **28 de Febrero de 2026**

F: 

Doris Victoria Sibri Ortiz

C.I. 0302508726

**CERTIFICADO DEL TUTOR**

Yo, Blanca Lucia Ávila Correa certifico que el presente proyecto de titulación / artículo científico, con el título **DESARROLLO DE ARQUITECTURAS DE MICROSERVICIOS ESCALABLES Y RESILIENTES APLICADOS A LAS MIPYMES DE LA CIUDAD DE AZOGUES** fue desarrollado por Doris Victoria Sibri Ortiz con número de cédula 0302508726 bajo mi supervisión.



F:

Blanca Lucia Ávila Correa

C.I. 0301181509

Dedicatoria

Dedico este trabajo, con profunda gratitud y cariño, a mi madre, quien ha sido el pilar fundamental de mi vida. Su amor incondicional, sacrificio y constante apoyo han sido la fuerza que me impulsó a continuar incluso en los momentos más difíciles. Cada logro alcanzado lleva consigo una parte de su esfuerzo y sus enseñanzas.

A mis hermanos, por su compañía, comprensión y apoyo permanente, por recordarme siempre la importancia de seguir adelante y por ser parte esencial de mi crecimiento personal y profesional.

A aquellas personas que, sin ser parte de mi familia por lazos de sangre, se convirtieron en familia por elección. Gracias por creer en mí, por brindar su apoyo sincero, sus consejos y su confianza en momentos clave, demostrando que la verdadera familia también se construye con afecto, lealtad y presencia.

A mis amigos, quienes han sido compañeros de vida y apoyo constante a lo largo del tiempo. A los amigos de colegio, que pese al paso de los años han permanecido presentes, demostrando que las verdaderas amistades trascienden las etapas y la distancia. Y a los amigos que conocí durante la universidad, con quienes compartí aprendizajes, desafíos y metas, y que aún continúan formando parte de este camino, brindando motivación, apoyo y momentos que hicieron este proceso más significativo.

Finalmente, dedico este esfuerzo a todas las personas que creen en la educación, la perseverancia y el conocimiento como herramientas capaces de transformar vidas y abrir nuevos caminos hacia el futuro.

Agradecimientos

Expreso mi más profundo y sincero agradecimiento a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron al desarrollo y culminación de este trabajo investigativo, acompañándome a lo largo de un proceso que representó no solo un desafío académico, sino también un importante crecimiento personal y profesional.

A mis docentes, por su dedicación, compromiso y vocación al compartir sus conocimientos, experiencias y enseñanzas a lo largo de mi formación académica. Cada orientación, observación y consejo brindado durante este proceso permitió fortalecer mis habilidades, ampliar mi visión profesional y comprender la importancia del rigor científico y la responsabilidad académica en la construcción del conocimiento.

De manera especial, expreso mi más sincero agradecimiento a mi tutora, cuya guía constante, paciencia y acompañamiento fueron fundamentales para la finalización de este trabajo. Su apoyo académico, sus valiosas recomendaciones y su confianza en mis capacidades hicieron posible superar las dificultades presentadas durante el proceso investigativo. Gracias a su orientación y compromiso fue posible transformar ideas en resultados concretos y culminar satisfactoriamente este artículo.

A la institución académica, por brindar el espacio, los recursos y el entorno necesario para el desarrollo de esta investigación, promoviendo el aprendizaje continuo y el espíritu investigativo como pilares fundamentales de la formación profesional.

A mi familia, especialmente a mi madre y hermanos, por su apoyo incondicional, comprensión y motivación constante. Su confianza y respaldo fueron una fuente permanente de fortaleza en los momentos de mayor exigencia, recordándome siempre la importancia de perseverar hasta alcanzar las metas propuestas.

A mis amigos, tanto aquellos que han permanecido desde la etapa escolar como los que conocí durante la universidad, por su compañía, ánimo y apoyo sincero. Compartir este camino con personas que brindaron motivación, escucha y confianza hizo que cada desafío fuese más llevadero y cada logro más significativo.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, directa o indirectamente, aportaron con su ayuda, palabras de aliento y confianza durante este proceso, dejando una huella importante en la culminación de este logro académico.

Resumen

Este trabajo presenta el diseño, implementación y validación de un prototipo de arquitectura basada en microservicios escalables y estructuralmente resilientes, orientado a optimizar procesos operativos de una MiPyme en la ciudad de Azogues, Ecuador. La investigación adoptó un enfoque aplicado y de estudio de caso único, integrando análisis del sistema actual (AS-IS), modelado de una arquitectura propuesta (TO-BE) y evaluación mediante pruebas técnicas y análisis cualitativo. La solución fue desplegada en un entorno contenerizado utilizando Docker Compose, incorporando un API Gateway, autenticación basada en JWT, separación lógica de bases de datos por microservicio y mecanismos de auditoría. La validación cuantitativa evidenció una reducción aproximada del 75\% en el tiempo interno de procesamiento del flujo de facturación, mientras que la evaluación cualitativa reflejó altos niveles de satisfacción y percepción de mejora organizacional por parte del usuario administrativo. Aunque la resiliencia implementada corresponde a un nivel estructural sin patrones avanzados de tolerancia a fallos, la arquitectura propuesta demuestra viabilidad técnica y operativa para impulsar la modernización progresiva de MiPymes en contextos de recursos limitados.

Palabras clave: *microservicios, MiPyMEs, arquitectura de software, escalabilidad, resiliencia estructural, Docker.*

Abstract

This paper presents the design, implementation, and validation of a prototype architecture based on scalable and structurally resilient microservices, aimed at optimizing operational processes for an SME in the city of Azogues, Ecuador. The research adopted an applied, single-case study approach, integrating analysis of the current system (AS-IS), modeling of a proposed architecture (TO-BE), and evaluation through technical testing and qualitative analysis. The solution was deployed in a containerized environment using Docker Compose, incorporating an API Gateway, JWT-based authentication, logical separation of databases by microservice, and auditing mechanisms. Quantitative validation showed an approximate 75% reduction in internal processing time for the billing workflow, while qualitative evaluation indicated high levels of satisfaction and perceived organizational improvement on the part of the administrative user. Although the implemented resilience corresponds to a structural level and lacks advanced fault-tolerance patterns, the proposed architecture demonstrates technical and operational viability to drive progressive modernization of SME in resource-constrained contexts.

Keywords: *microservices, MSMEs, software architecture, scalability, structural resilience, Docker*

Development of scalable and resilient microservice architectures applied to MSMEs in the city of Azogues

Desarrollo de arquitecturas de microservicios escalables y resilientes aplicados las MIPYMES de la ciudad de Azogues

INTRODUCCIÓN

Contexto general

Las micro, pequeñas y medianas empresas (MiPymes) representan más del 90% del tejido empresarial ecuatoriano y constituyen un pilar en la generación de empleo (Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca, 2023). A pesar de su importancia económica, el nivel de adopción tecnológica en este sector sigue siendo escaso, lo que afecta su competencia en entornos cada vez más digitalizados. En el contexto actual, la transformación digital, entendida como la adecuada incorporación estratégica de tecnologías y la optimización de los procesos organizativos, se considera un factor determinante en la sostenibilidad y el crecimiento empresarial (Cepeda, Andrade, y Torres, 2022).

Antecedentes

La arquitectura basada en microservicios se da a conocer como la evolución de la arquitectura de software monolítico clásica, es decir, la construcción de aplicaciones como una colección de servicios independientes, con un acoplamiento que no es muy fuerte, que pueden ejecutarse de forma independiente (Fowler y Lewis, 2014; Newman, 2019). Estas construcciones permiten implementar la escalabilidad horizontal, la resiliencia ante fallas, así como la implementación continua, características críticas en un entorno dinámico (Deng, Zhang, Zhou y Ma, 2019).

Si bien la adopción de la técnica en las MiPymes es posible, se han reportado algunas dificultades. Por ejemplo, las MiPymes tienen restricciones relacionadas con el presupuesto, limitaciones en su infraestructura y falta de habilidades técnicas, lo que sin duda complica la adopción y utilización de SDD (Lenarduzzi et al., 2021; Di Francesco et al., 2022). Por este motivo, varios investigadores han propuesto soluciones basadas en servicios de la nube o en el uso de automatización y en la utilización de marcos arquitectónicos delgados como la manera de reducir los costes y de cumplir las condiciones de adopción, especialmente en escenarios restringidos (Villamizar et al., 2023; Mendes et al., 2024).

Problema de Investigación

A pesar de que la literatura internacional respalda la arquitectura de microservicios, todavía hay una brecha entre la teoría y la aplicación de la microarquitectura de microservicios en MiPymes de economías emergentes (Thomas, Fellmann, y Seese, 2021); en nuestro contexto ecuatoriano, son todavía escasos los estudios empíricos sobre la implementación real en pequeñas empresas (Cepeda y cols., 2022).

Esta situación limita la generación de evidencias locales de viabilidad técnica, costos, y beneficios organizacionales para la toma de decisiones estratégicas. En consecuencia, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Es viable implementar una arquitectura contenerizada basada en microservicios que mejore la escalabilidad, seguridad y continuidad operativa en una MiPyme de la ciudad de Azogues

Objetivos

El objetivo general de la investigación es diseñar, implementar y evaluar un prototipo basado en microservicios con capacidades de escalabilidad y tolerancia a fallos, adaptado a las condiciones operativas de una MiPyme en Azogues.

Los objetivos específicos son:

- Analizar los procesos empresariales susceptibles de mejora mediante un enfoque desacoplado.
- Diseñar una arquitectura ajustada a restricciones tecnológicas y presupuestarias, priorizando herramientas de código abierto.
- Implementar el prototipo mediante contenedores Docker y mecanismos de automatización.
- Evaluar el desempeño del sistema a través de métricas como latencia, disponibilidad y estabilidad bajo carga.

Sistematizar lineamientos técnicos y organizacionales que orienten futuras implementaciones en MiPymes.

Justificación

Las MiPymes ubicadas en Azogues presentan limitaciones estructurales que impiden la incorporación de soluciones tecnológicas sofisticadas y avanzadas. Realizar un análisis de arquitecturas modulares tales como los microservicios permiten rastrear vías de modernización que requieren las inversiones de una forma controlada y escalable.

La investigación aporta evidencia empírica mediante el desarrollo y validación de un prototipo funcional en un entorno real. Desde una perspectiva aplicada, contribuye a la mejora de la eficiencia operativa y la resiliencia organizacional; en el ámbito académico, amplía la discusión sobre adopción de arquitecturas distribuidas en economías emergentes.

METODOLOGÍA

Enfoque General del Estudio

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque aplicado, orientado a la construcción y validación empírica de una solución tecnológica concreta en un entorno organizacional real. La investigación aplicada se caracteriza por trasladar fundamentos teóricos hacia la resolución práctica de problemas específicos en contextos determinados (Thomas y cols., 2021).

El diseño metodológico fue estructurado explícitamente para responder a la siguiente pregunta de investigación:

¿Es viable técnica y operativamente implementar una arquitectura contenerizada basada en microservicios que mejore la escalabilidad, seguridad y continuidad operativa en una MiPyme de la ciudad de Azogues?

Con el fin de asegurar una respuesta a la pregunta de investigación presentando el diseño de un estudio de caso único con enfoque mixto, se mezcló medición técnica objetiva y evaluación organizacional cualitativa, tal como había sido propuesto por las indicaciones metodológicas para la evaluación de arquitecturas de software (Deng y cols, 2019).

Tipo y Diseño de Investigación

Tipo de Investigación

Este trabajo se define como investigación aplicada, es decir, desarrolla principios teóricos de la arquitectura de microservicios para aplicarlos en el contexto concreto y real de una empresa, cuyo objetivo es resolver un problema específico de acoplamiento estructural y de dependencia operativa (Newman, 2019).

Diseño Metodológico

Se utilizó un diseño de estudio de caso único instrumental, adecuado para examinar fenómenos tecnológicos dentro de su contexto natural de operación (Cepeda y cols., 2022). Este enfoque es particularmente pertinente en estudios de adopción tecnológica en MiPymes, donde las condiciones organizacionales influyen significativamente en los resultados (Lenarduzzi y cols., 2021). El procedimiento se estructuró en cuatro fases:

1. Diagnóstico del modelo actual (AS-IS).
2. Diseño de la arquitectura propuesta (TO-BE).
3. Implementación del prototipo.
4. Validación cuantitativa y cualitativa.

Cada fase estuvo alineada con dimensiones evaluativas vinculadas a escalabilidad, seguridad y continuidad operativa, variables críticas en arquitecturas de microservicios (Fowler y Lewis, 2014).

Unidad de Análisis y Contexto

La unidad de análisis fue la empresa Distribuidora Vargas Rojas, MiPyme localizada en la ciudad de Azogues, Ecuador.

La selección se realizó mediante muestreo no probabilístico por conveniencia, criterio común en estudios exploratorios y de validación tecnológica en pequeñas organizaciones (Di Francesco y cols., 2022).

La empresa fue seleccionada por:

- Dependencia crítica de sistemas regulatorios (SRI y STC).

- Procesos susceptibles de desacoplamiento arquitectónico.
- Restricciones tecnológicas representativas del entorno MiPyme.
- Disposición para participar en la implementación experimental.

Este contexto permitió evaluar la viabilidad real del modelo arquitectónico bajo limitaciones operativas.

Variables y Operacionalización

Para responder la pregunta de investigación, se definieron tres dimensiones evaluativas:

1. Escalabilidad La escalabilidad en microservicios se relaciona con la capacidad de replicar servicios de forma independiente y absorber incrementos de carga sin afectar el sistema completo (Newman, 2019). Se evaluó mediante:
 - a) Tiempo promedio de procesamiento.
 - b) Capacidad de replicación manual por servicio.
 - c) Independencia funcional.

2. Seguridad Las arquitecturas modernas de microservicios recomiendan autenticación centralizada y autorización distribuida basada en tokens. Se evaluó:
 - a) Implementación de JWT.
 - b) Control de acceso basado en roles y permisos.
 - c) Registro de auditoría estructurad

Procedimiento Metodológico

1. Fase 1: Diagnóstico AS-IS Se aplicaron:
 - a) Entrevistas semiestructuradas.
 - b) Observación directa.
 - c) Modelado UML 2.x (casos de uso, actividades y contexto).

El modelado UML permitió representar formalmente vistas estructurales y comportamentales del sistema.

El diagnóstico identificó acoplamiento operacional, dependencia externa crítica y ausencia de mecanismos formales de seguridad.

2. Fase 2: Diseño Arquitectónico TO-BE La arquitectura propuesta adoptó principios de:
 - a) Desacoplamiento funcional.
 - b) Persistencia independiente por servicio.
 - c) Autenticación centralizada mediante JWT.
 - d) Coordinación mediante API Gateway.

El diseño se apoyó en:

- a) UML 2.x.
- b) Modelo C4 para representación de contenedores.

c) Diagrama de despliegue.

El modelo C4 facilita el lenguaje de la arquitectura en sistemas distribuidos.

3. Fase 3: Implementación El prototipo fue desplegado mediante Docker Compose, tecnología frecuentemente usada en el funcionamiento de entornos contenerizados ligeros en organismos con recursos escasos. Se pusieron en marcha los siguientes microservicios:

- a) API Gateway
- b) Auth Service
- c) Operational Service
- d) Billing Service
- e) Regulatory Report Service

La interacción con sistemas regulatorios fue simulada en entorno controlado, siguiendo recomendaciones de validación experimental en arquitectura distribuida.

4. Fase 4: Validación Evaluación Cuantitativa

Se realizaron cinco repeticiones por escenario (n=5) para:

- a) Medición de tiempos AS-IS.
- b) Medición de tiempos TO-BE.

Este procedimiento permitió obtener promedios representativos del comportamiento interno del sistema. Evaluación Cualitativa Se aplicó:

- a) Entrevista semiestructurada.
- b) Escala Likert de 5 puntos.

El enfoque mixto permite complementar métricas técnicas con percepción organizacional.

Justificación de Decisiones Arquitectónicas

No se implementaron:

- Kubernetes.
- Circuit Breaker.
- Autoescalado dinámico.

La literatura advierte sobre la capacidad de la sobreingeniería para aumentar la complejidad de la operativa MiPyme sin aportar ventajas equivalentes (Lenarduzzi y cols., 2021). La decisión se adoptó bajo criterios de adecuación contextual y viabilidad real.

Criterios de Validez

Se aplicaron:

- Triangulación metodológica.
- Repetición controlada de pruebas.
- Comparación AS-IS vs TO-BE.
- Documentación formal del diseño.

Estos mecanismos fortalecen la confiabilidad y coherencia metodológica.

Técnicas e Instrumentos

Para la recolección de información se aplicaron entrevistas semiestructuradas y análisis documental de procesos internos. La validación técnica incluyó pruebas de carga con JMeter y monitoreo del sistema mediante Grafana, conforme a prácticas recomendadas para evaluación de microservicios (Newman, 2019).

La percepción del usuario se evaluó mediante una escala Likert de cinco puntos (1 = Muy en desacuerdo, 5 = Muy de acuerdo), orientada a medir:

- Mejora en tiempos de respuesta.
- Facilidad de uso.
- Continuidad operativa.
- Confianza en la seguridad.
- Satisfacción general.

Al tratarse de un estudio de caso único, el análisis priorizó la profundidad interpretativa sobre la generalización estadística.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis del Modelo Actual (AS-IS)

El diagnóstico del sistema actual evidenció un esquema operativo altamente dependiente de la intervención manual del usuario administrativo, quien actuaba como integrador informal entre herramientas locales (Microsoft Excel) y plataformas regulatorias externas (SRI y STC).

Desde una perspectiva arquitectónica, el modelo AS-IS presenta alto acoplamiento funcional, ausencia de mecanismos formales de seguridad, inexistencia de auditoría estructurada y dependencia crítica de disponibilidad externa, configurando un punto único de fallo que compromete la continuidad operativa.

Estos hallazgos coinciden con problemáticas reportadas en estudios sobre adopción tecnológica en MiPymes, donde la informalidad estructural y la dependencia operativa limitan la resiliencia organizacional (Lenarduzzi y cols., 2021; Di Francesco y cols., 2022).

La indisponibilidad de servicios regulatorios generaba interrupción total del flujo de facturación, evidenciando un punto único de fallo y ausencia de desacoplamiento arquitectónico.

Resultados del Diseño e Implementación del Modelo TO-BE

La arquitectura propuesta introdujo un modelo basado en microservicios contenerizados, estructurado mediante un API Gateway, autenticación centralizada mediante JWT y separación lógica de persistencia por dominio funcional.

Esta configuración permitió:

- Desacoplar procesos internos de la disponibilidad inmediata de sistemas externos.
- Implementar control de acceso basado en roles y permisos.
- Incorporar auditoría estructurada por evento.
- Aislar responsabilidades funcionales por servicio.

El desacoplamiento implementado responde a principios fundamentales de microservicios descritos por (Fowler y Lewis, 2014) y (Newman, 2019), particularmente en lo relativo a independencia de despliegue y aislamiento de fallos.

Arquitectura Técnica del Prototipo Implementado

La arquitectura implementada se estructuró bajo un modelo de microservicios contenerizados, organizados mediante un esquema de desacoplamiento funcional y coordinación centralizada a través de un API Gateway. El sistema se compone de cinco microservicios principales: API Gateway, Auth Service, Operational Service, Billing Service y Regulatory Report Service.

El API Gateway actúa como punto único de entrada al sistema, encargándose de la validación preliminar de autenticación, redirección de solicitudes y aplicación uniforme de políticas de seguridad. Este componente evita la exposición directa de los microservicios internos y reduce la superficie de ataque del sistema.

El Auth Service ofrece la funcionalidad de centralizar la autenticación y la elaboración de tokens JWT (JSON Web Tokens). En cada token se incorpora la información de identidad del usuario, del rol que se le asignó y de un conjunto explícito de permisos, así como de la fecha y hora de emisión y expiración. Esto permite crear un modelo de seguridad que es 'stateless', mejorando la escalabilidad y reduciendo la vinculación entre servicios.

El modelo de autorización que se ha definido incorpora RBAC (Control de Acceso Basado en Roles) y PBAC (Control de Acceso Basado en Permisos). Mientras que los roles delimitan perfiles generales de usuario (ADMIN o USER), los permisos otorgan un acceso controlado y más específico sobre ciertas acciones, como la creación de facturas, la generación de reportes o la consulta de auditorías. Cada microservicio valida de manera independiente los permisos que son necesarios para cada endpoint, lo que permite mezclar autenticación centralizada y autorización distribuida. Esta opción reduce el cross-cutting, la lógica de seguridad que se propaga en el sistema y el sistema se beneficia de una evolución incremental en su diseño.

En lo que respecta al Servicio de Facturación, se implementó un sistema de flujo por etapas definido que considera estados del ciclo de vida del documento tales como: CREADO, ENVIADO y AUTORIZADO. Cada transición de estado genera un evento que se persiste en una tabla de auditoría, que se compone del resultado de esa acción, del usuario que la ejecutó y de un timestamp. Esto proporciona la auditoría y el cumplimiento de dichos eventos y, por lo tanto, se proporciona el seguimiento.

En cuanto a la persistencia de datos, se sigue la regla de aislamiento por dominio funcional. Cada microservicio tiene su propia base de datos lógicamente contenida en una instancia de SQL Server, lo cual previene la existencia de dependencias entre esquemas y permite que cada uno de los componentes pueda evolucionar de manera independiente.

Desde una perspectiva de infraestructura, el sistema está fragmentado tal que cada microservicio se ejecute en un contenedor independiente con su propia red interna privada y su propio volumen persistente, utilizando Docker Compose. Esto proporciona a la arquitectura portabilidad, reproducibilidad del entorno y aislamiento de procesos.

En el plano de la resiliencia, la arquitectura de este sistema contiene un nivel de resiliencia estructural apoyado en elementos de desacoplamiento, de aislamiento por contenedor y de separación de responsabilidades. Diseños como Circuit Breaker o autoescalado dinámico no fueron considerados por cuestiones de adecuación contextual y viabilidad operativa en el ámbito de las MiPyme, pero el desacoplamiento logrado permite al sistema continuar su funcionamiento dado un fallo permanentemente en un servicio externo, lo que permite que las transacciones se registren en estado pendiente y, a su vez, disminuye la dependencia crítica inmediata. Esta problemática contextualiza la resiliencia en el ámbito de las MiPyme, porque la desplaza desde diseños avanzados de tolerancia a fallos hasta una independencia estructural escalonada; y, en este sentido, seguir registrando operaciones a pesar de caídas en el exterior del sistema, representa una mejora arquitectónica notable en comparación al modelo AS-IS.

Resultados Cuantitativos

La comparación experimental entre el modelo AS-IS y el modelo TO-BE evidenció una reducción aproximada del 75 % en el tiempo interno promedio de procesamiento del flujo de facturación (de 45–60 segundos a 8–12 segundos).

Esta mejora se atribuye a:

- Automatización de validaciones.
- Eliminación de duplicidad de registros.
- Procesamiento estructurado previo al envío regulatorio.

En términos de continuidad operativa, la simulación de caída del servicio externo demostró que el sistema TO-BE permite registrar transacciones en estado pendiente sin interrumpir operaciones internas, reduciendo así el riesgo de paralización total.

Estos resultados se alinean con investigaciones que destacan el desacoplamiento como factor clave en la mejora de resiliencia organizacional en arquitecturas distribuidas (Grajek y Rozanski, 2020).

Resultados Cualitativos

La evaluación mediante escala Likert evidenció una percepción positiva del usuario administrativo en relación con:

- Mejora en tiempos de respuesta.
- Mayor confianza en seguridad del sistema.
- Percepción de continuidad operativa.
- Satisfacción general con la solución implementada.

La integración de métricas técnicas con percepción organizacional refuerza la coherencia entre mejora estructural y aceptación operativa, aspecto considerado crítico en adopción tecnológica en pequeñas empresas (Thomas y cols., 2021).

Discusión Comparativa

Los resultados obtenidos confirman que la implementación de microservicios en una MiPyme no debe evaluarse exclusivamente en términos de escalabilidad masiva, sino en función de desacoplamiento estructural, formalización de seguridad y mejora de trazabilidad.

A diferencia de entornos corporativos donde la prioridad es el autoescalado dinámico y la alta disponibilidad distribuida, en este contexto los beneficios más relevantes fueron:

- Reducción de dependencia crítica externa.
- Formalización de autenticación y autorización.
- Registro estructurado de auditoría.

Estos hallazgos son consistentes con estudios que advierten que la adopción en MiPymes debe ser progresiva y contextualizada, evitando sobreingeniería tecnológica (Lenarduzzi y cols., 2021; Villamizar y cols., 2023).

Aunque no se implementaron patrones avanzados como Circuit Breaker o autoescalado dinámico, la arquitectura logró resiliencia estructural mediante desacoplamiento y aislamiento funcional. En el contexto MiPyme, esta aproximación redefine la resiliencia como independencia progresiva frente a dependencias críticas externas, evitando sobreingeniería innecesaria.

En este sentido, el aporte principal del estudio no radica en la implementación de infraestructura distribuida compleja, sino en demostrar que el desacoplamiento estructural, la formalización de mecanismos de seguridad y la trazabilidad operativa constituyen mejoras estratégicas suficientes para elevar el nivel de madurez tecnológica en organizaciones con recursos limitados.

Respuesta a la Pregunta de Investigación

Los resultados técnicos y organizacionales permiten afirmar que la implementación de una arquitectura contenerizada basada en microservicios es viable técnica y operativamente en una MiPyme de la ciudad de Azogues, siempre que su adopción sea gradual, contextualizada y alineada a las capacidades reales de la organización.

La mejora en los tiempos de procesamiento, la disminución de la dependencia externa crítica y la formalización de la seguridad indican que el modelo propuesto es factible y que hay una pertinencia estratégica para la modernización gradual de los procesos en economías emergentes.

CONCLUSIONES

La intención de la investigación actualmente efectuada ha consistido en explorar la viabilidad técnica y operativa de la puesta en práctica de una arquitectura de microservicios por medio de contenedores para la mejora de la escalabilidad, seguridad y continuidad operativa en una MiPyme localizada en la ciudad de Azogues. La extracción de resultados ha ido permitiendo extraer la conclusión de la viabilidad de la puesta en práctica de dicha arquitectura y entre las distintas especificaciones de su diseño se deben anotar las de la factibilidad del modelo de contenedores, el diseño de la arquitectura de microservicios cuya puesta práctica se adecúe a un esquema de proporcionalidad tecnológica y al contexto en el cual se ubique la MiPyme. La evidencia empírica ha puesto en evidencia que el desacoplamiento estructural, formalizar los mecanismos de autenticación y autorización y la inclusión de auditoría por eventos son suficientes mejoras arquitectónicas para elevar el nivel de madurez tecnológica para entornos limitados.

Más allá de la disminución de los tiempos de procesamiento, el principal aporte del estudio es que el contexto de las MiPyme no acepta concebir la resiliencia como una simple tolerancia a fallos o autoescalado dinámico, sino como una independencia funcional de las dependencias críticas externas.

Desde la vertiente académica, el estudio aporta evidencias prácticas al ámbito de las economías emergentes, el cual es uno de los campos donde la literatura sobre microservicios en pequeñas empresas es prácticamente impensable. Desde la vertiente práctica, el estudio ofrece un modelo arquitectónico replicable y que puede desarrollarse en los límites, racionales, de la capacidad técnica.

Por otro lado, el trabajo presenta limitaciones que son consecuencia de su diseño de un único caso y de la falta de niveles de patrones de tolerancia a fallos más avanzados. Casos con mayor concurrencia, el diseño de patrones de resiliencia más avanzados y el análisis coste/beneficio asociado a la adopción de los mecanismos de resiliencia serán objeto de estudio de cara a la evolución de estas investigaciones.

En conclusión, la arquitectura que se presenta deja claro que la modernización tecnológica de las MiPymes puede realizarse de forma incremental, estratégicamente y tecnológicamente robusta, sin incurrir en sobreingeniería.

TRABAJOS FUTUROS

Si bien el prototipo alcanzado presentó viabilidad técnica y operativa en el entorno de una PYME de Azogues, podría iniciarse un camino de evolución que podría llegar a emplearse para la evolución del modelo en términos de madurez arquitectónica y superficie empírica. En un futuro, convendría analizar cómo se comportaría el sistema en situaciones de carga concurrente más rigurosas con métricas de rendimiento más elaboradas como el rendimiento, la latencia distribuida o el uso de recursos por contenedor. Esto podría dar lugar a una investigación más exhaustiva sobre las verdaderas capacidades de escalabilidad del modelo.

En segundo lugar, patrones de resiliencia más sofisticados, como por ejemplo el Circuit Breaker, el Patrón de Reintentos y los mecanismos de la observabilidad distribuida (trazado completo), podrían considerarse en el futuro para estudiar el comportamiento frente a fallos en cadena y dependencias externas reales. También la migración progresiva a plataformas de orquestación (p. ej. Kubernetes) podría abordarse: el efecto de la autoescalabilidad dinámica y el control automático de contenedores en entornos de crecimiento empresarial.

Metodológicamente, se sugiere realizar el mismo estudio en múltiples pymes de diferentes sectores económicos, ya que permitirá un análisis comparativo y ampliará la generalización de los hallazgos. Por último, los estudios futuros pueden añadir análisis de costo-beneficio y métricas de retorno de inversión (ROI) al proceso de evaluación, enfocándose en la sostenibilidad económica de la implementación de arquitecturas de microservicios en economías emergentes.

Referencias

- Cepeda, S., Andrade, D., y Torres, C. (2022). Digital transformation in smes: A case study in ecuador. *International Journal of Information Management*, 63, 102465.
- Deng, Y., Zhang, Y., Zhou, X., y Ma, H. (2019). A survey on microservice architecture. *IEEE Access*, 7, 167779–167794. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2958333
- Di Francesco, P., Malavolta, I., y Lago, P. (2022). An empirical study on microservices adoption in small and medium-sized enterprises. *Information and Software Technology*, 147, 106944. doi: 10.1016/j.infsof.2022.106944
- Fowler, M., y Lewis, J. (2014). Microservices: A definition of this new architectural term. *IEEE Software*, 31(3), 76–86. doi: 10.1109/MS.2014.77
- Grajek, M., y Rozanski, N. (2020). Software architecture and technical debt: A systematic mapping study. *Journal of Systems and Software*, 167, 110606. doi: 10.1016/j.jss.2020.110606
- Lenarduzzi, V., Taibi, D., y Pahl, C. (2021). Microservices adoption in practice: Motivations, benefits, and challenges. *Software Quality Journal*, 29(1), 1–28. doi: 10.1007/s11219-020-09545-3
- Mendes, E., Spinola, R., y Kalinowski, M. (2024). A lightweight framework for microservices development in resource-constrained environments. *Journal of Systems and Software*, 209, 112255. doi: 10.1016/j.jss.2023.112255
- Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca. (2023). *Boletín mipymes*. Quito, Ecuador. (Documento institucional)
- Newman, S. (2019). *Building microservices: Designing fine-grained systems*. O'Reilly Media.
- Thomas, T., Fellmann, M., y Seese, D. (2021). Success factors for microservice architectures in small and medium-sized enterprises. *IEEE Access*, 9, 16477–16493. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3053207
- Villamizar, M., Kalinowski, M., y Mendez, E. (2023). Serverless microservices for smes: A cost-benefit analysis. *IEEE Cloud Computing*, 10(2), 45–55.

Anexos

Apéndice A

Diseño del instrumento de encuesta (escala Likert)

Tipo de instrumento

Encuesta estructurada basada en una escala Likert de cinco puntos:

1. Muy en desacuerdo
2. En desacuerdo
3. Neutral
4. De acuerdo
5. Muy de acuerdo

Población

Usuarios administrativos de la empresa participante ($n = 1$).

Encuesta de satisfacción del usuario

Sección A. Percepción del desempeño del sistema

- El nuevo sistema reduce el tiempo necesario para realizar la facturación.
- El sistema responde más rápido que el proceso anterior.
- Percibo mayor estabilidad en las operaciones internas.
- El sistema genera mayor confianza en la seguridad de la información.
- El control de accesos y permisos mejora la organización operativa.
- Estoy satisfecho con el funcionamiento general del sistema.

APÉNDICE B

Resultados de la evaluación de satisfacción

Respuesta cualitativa

El propietario manifestó que el sistema resultó más rápido y organizado, destacando que anteriormente los procesos dependían en gran medida de validaciones externas y actividades manuales, mientras que la nueva solución proporciona mayor control y claridad operativa.

CUADRO 1*Resultados de evaluación de satisfacción del sistema*

Ítem	Valor
Mejora en tiempos	5
Rapidez del sistema	4
Estabilidad operativa	5
Confianza en seguridad	5
Control de accesos	5
Satisfacción general	4

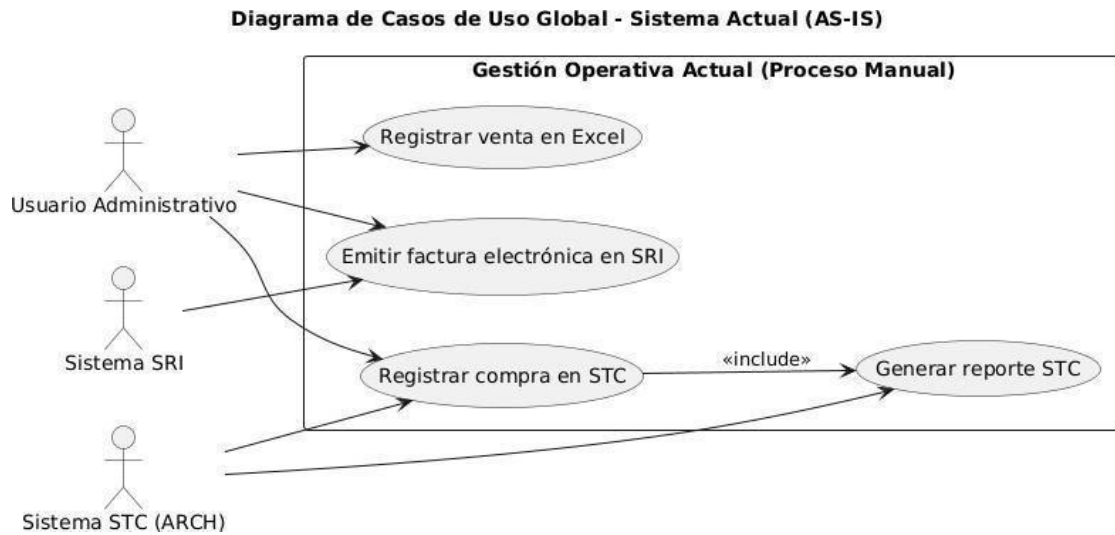


FIGURA 1

La Figura 1 presenta el diagrama de contexto del modelo AS-IS. Se observa que el usuario administrativo actúa como integrador manual entre herramientas locales (Microsoft Excel) y sistemas regulatorios externos (SRI y STC), evidenciando un alto acoplamiento operacional y dependencia crítica de plataformas externas. La ausencia de un sistema centralizado genera riesgos de inconsistencia y puntos únicos de fallo.

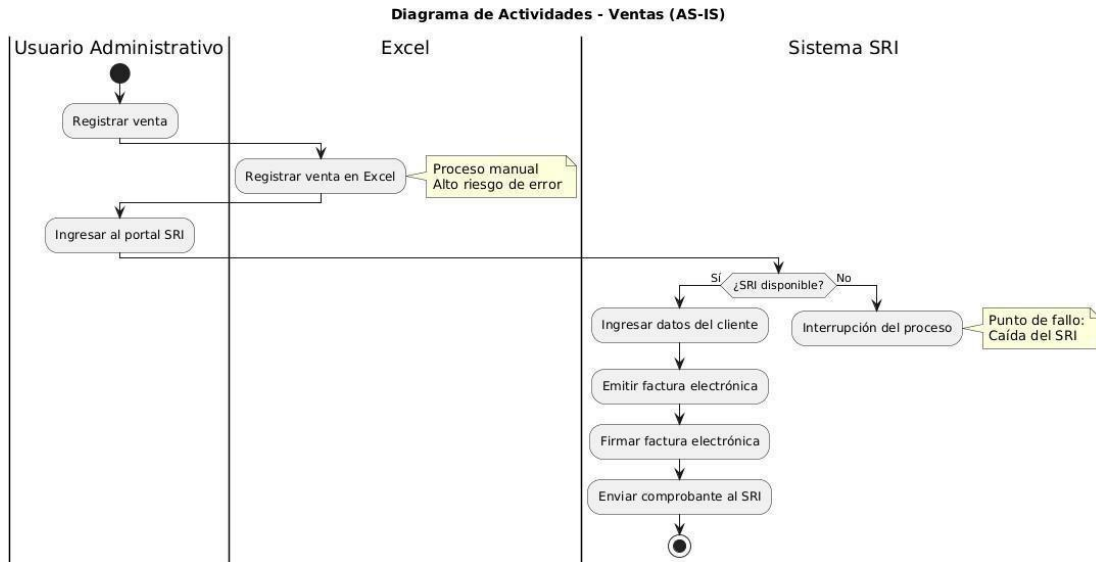
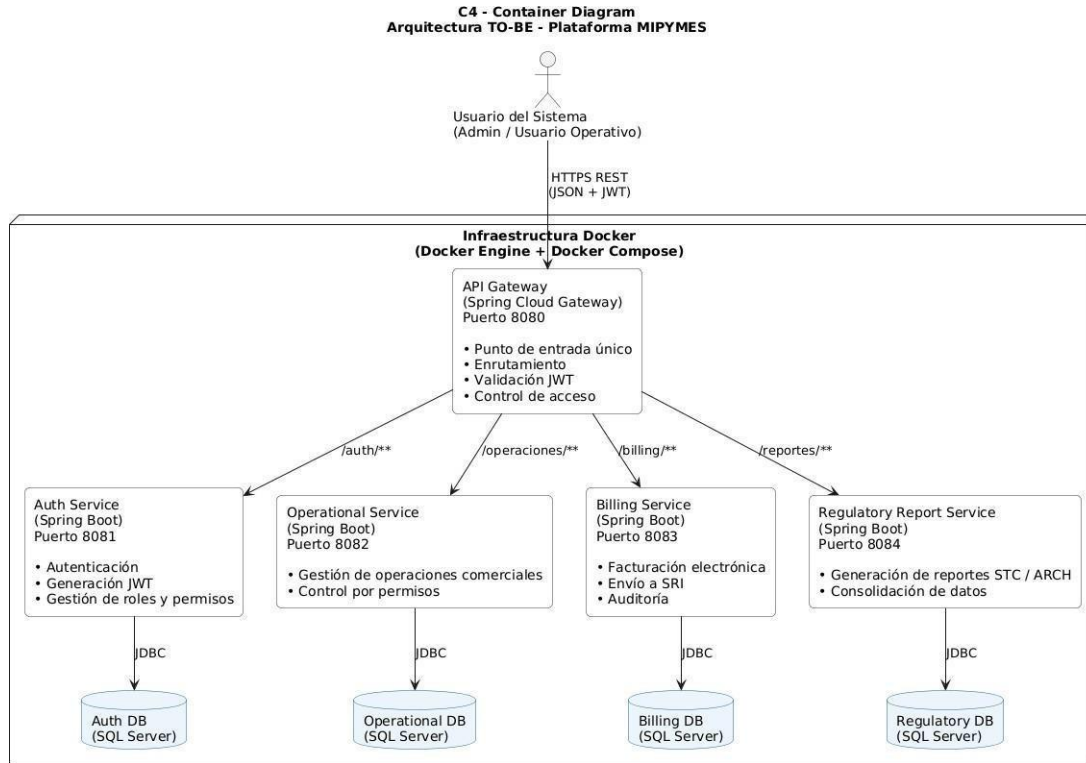
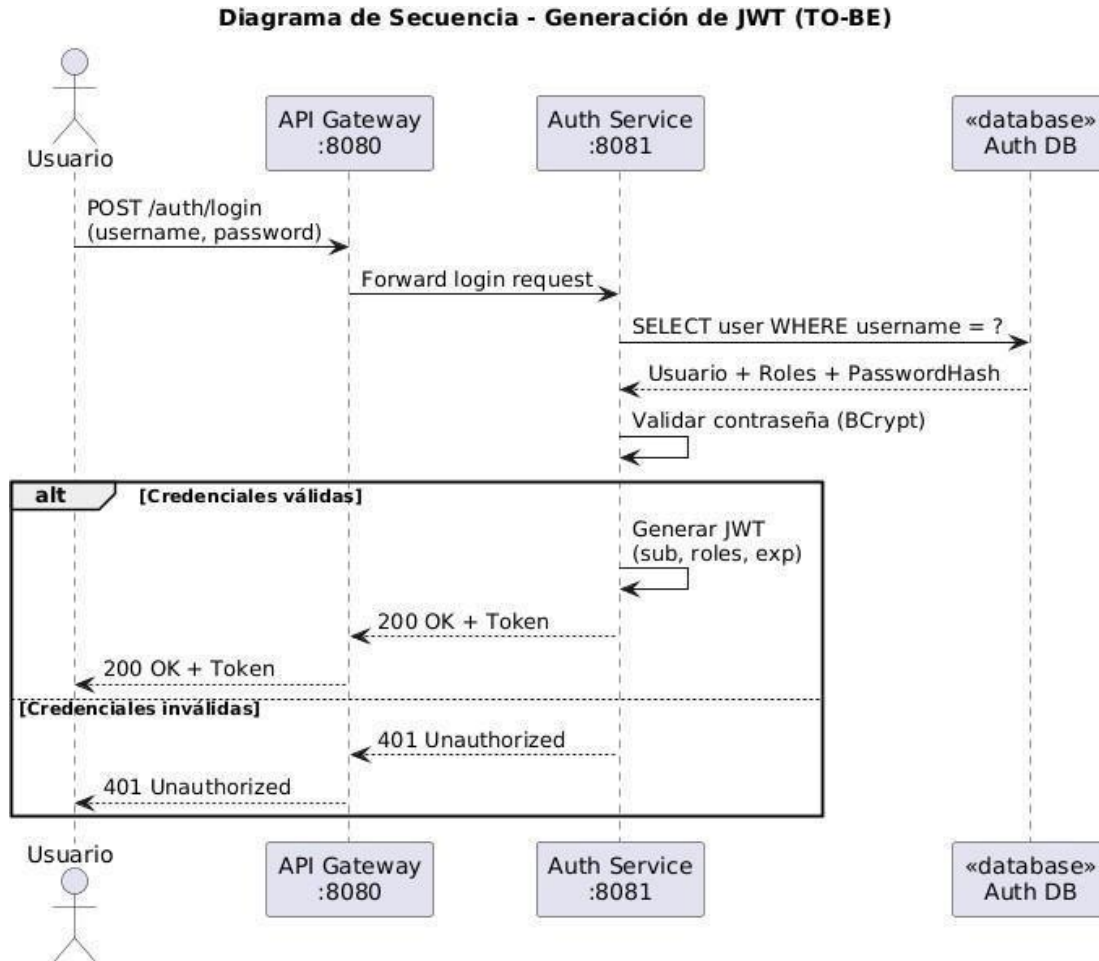


FIGURA 2

La Figura 2 muestra el flujo secuencial del proceso de ventas. Debido a la dependencia directa de la disponibilidad del sistema SRI, esto crea un único punto de fallo, deteniendo completamente el proceso en caso de una interrupción. Este comportamiento confirma que se requiere un modelo desacoplado.

**FIGURA 3**

Como se ve en la Figura 3, se presenta el diagrama de contenedores de la arquitectura TO-BE (modelo C4). La plataforma está estructurada a través de un API Gateway como un único punto de entrada, coordinando microservicios especializados en autenticación, operaciones, facturación e informes regulatorios. Cada servicio mantiene una persistencia independiente, implementando un desacoplamiento funcional y un aislamiento estructural.

**FIGURA 4**

La Figura 4 proporciona el flujo centralizado de autenticación. El API Gateway envía la solicitud al Servicio de Autenticación, que valida las credenciales y proporciona un token JWT con información de identidad, roles y permisos. Este enfoque sin estado facilita la escalabilidad y evita dependencias de sesión entre servicio.

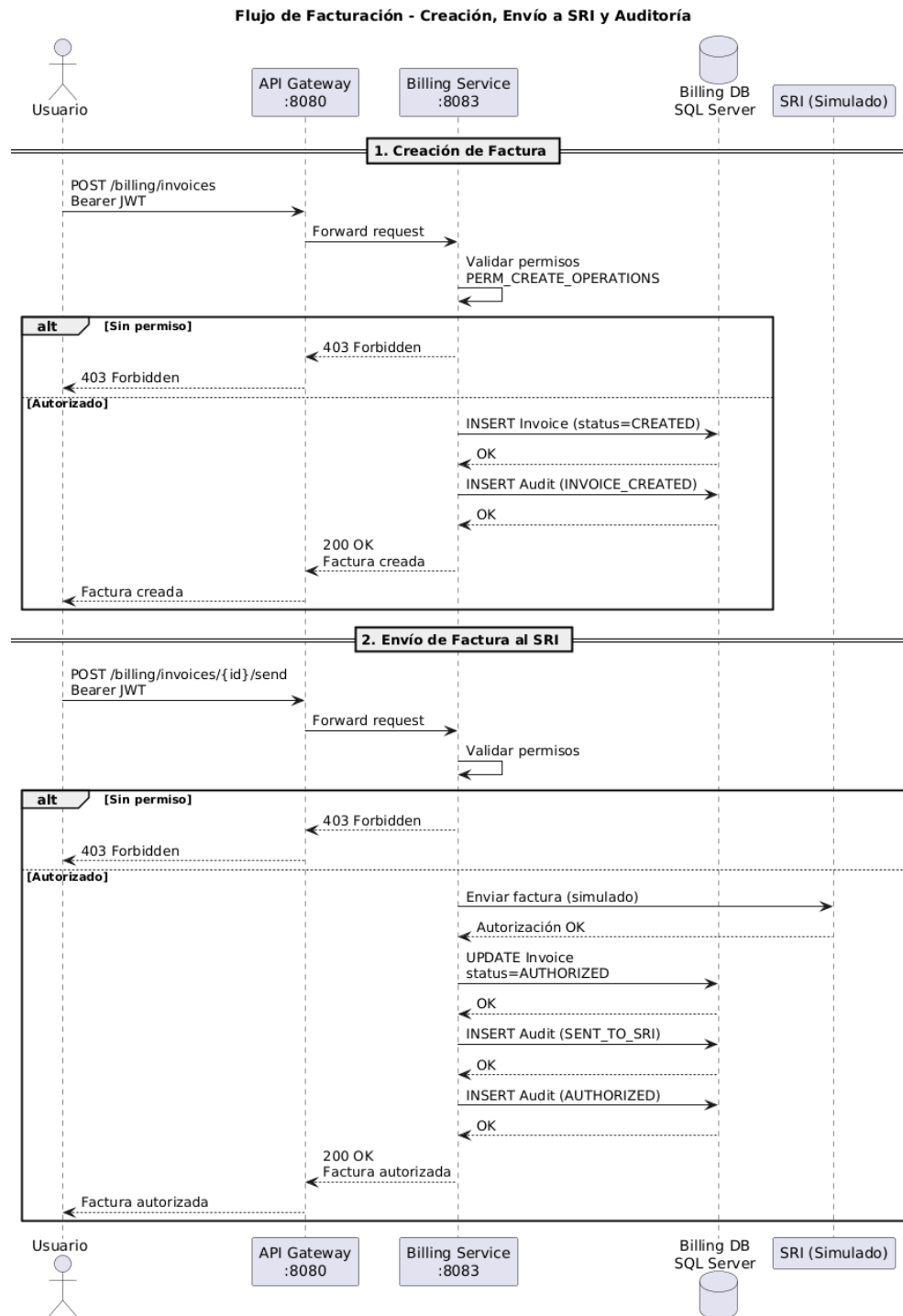


FIGURA 5

La Figura 5 muestra el flujo completo del proceso de facturación en el modelo TO-BE. El sistema valida los permisos, registra la factura en el estado CREADO, realiza el envío simulado al SRI y genera eventos de auditoría estructurados en cada transición de estado. Este sistema permite desacoplar el proceso interno de la disponibilidad inmediata del sistema regulatorio.