

Desarrollo de un sistema de diagnóstico para evaluar la viabilidad de migración de arquitecturas monolíticas hacia microservicios en la nube: Caso MiPYMES del sector E-commerce en Colombia.

1



Desarrollo de un sistema de diagnóstico para evaluar la viabilidad de migración de arquitecturas monolíticas hacia microservicios en la nube: Caso MiPYMES del sector E-commerce en Colombia.

Jesus Alejandro Torres Acosta

Daniel Santiago Acosta Sierra

Universidad Ean

Facultad de Ingeniería

Ingeniería de sistemas

Bogotá, Colombia

9/Abril/2026

Desarrollo de un sistema de diagnóstico para evaluar la viabilidad de migración de arquitecturas monolíticas hacia microservicios en la nube: Caso MiPYMES del sector E-commerce en Colombia.

2

Desarrollo de un sistema de diagnóstico para evaluar la viabilidad de migración de arquitecturas monolíticas hacia microservicios en la nube: Caso MiPYMES del sector E-commerce en Colombia.

Jesus Alejandro Torres Acosta

Daniel Santiago Acosta Sierra

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniería de Sistemas

Director (a):

ELIZABETH LEON VELASQUEZ

Universidad Ean

Facultad de Ingeniería

Desarrollo de un sistema de diagnóstico para evaluar la viabilidad de migración de arquitecturas monolíticas hacia microservicios en la nube: Caso MiPYMES del sector E-commerce en Colombia.

3

Ingeniería de sistemas

Bogotá, Colombia

9/Abril/2026

Nota de aceptación:

Firma del jurado

Firma del jurado

Firma del director del trabajo de grado

Desarrollo de un sistema de diagnóstico para evaluar la viabilidad de migración de arquitecturas monolíticas hacia microservicios en la nube: Caso MiPYMES del sector E-commerce en Colombia.

Ciudad, día/mes/año

Desarrollo de un sistema de diagnóstico para evaluar la viabilidad de migración de arquitecturas monolíticas hacia microservicios en la nube: Caso MiPYMES del sector E-commerce en Colombia.

6

Dedicatoria:

A mis padres por enseñarme que la resiliencia siempre será lo más importante.

Resumen

El presente artículo de investigación aborda el desconocimiento de los requisitos técnicos y organizacionales que enfrentan las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (MiPYMES) del sector de comercio electrónico (E-commerce) en Colombia al intentar migrar aplicaciones monolíticas hacia arquitecturas de microservicios. Esta falta de conocimiento genera incertidumbre operativa y riesgos legales que detienen la modernización tecnológica. El objetivo principal de este trabajo fue desarrollar un sistema de soporte a la decisión (DSS) asistido por inteligencia artificial para evaluar la viabilidad de dicha migración. La metodología empleada fue de enfoque mixto y alcance descriptivo-propositivo, centrada en el diseño de un prototipo funcional (MVP) sobre la arquitectura de Amazon Quick (Flows, Agents y Spaces), fundamentado en los marcos de referencia AWS CAF y Domain-Driven Design (DDD).

Los resultados obtenidos mediante la validación con pruebas piloto revelaron brechas significativas de madurez: la empresa Glow Scrubs obtuvo un Índice Global del 16% (nivel Inicial), evidenciando un riesgo legal crítico por el incumplimiento de la Ley 1581 de 2012; por su parte, IAngel SAS alcanzó un 55% (nivel En Desarrollo), destacando el capital humano como su principal fortaleza competitiva. El hallazgo transversal más relevante fue la identificación del monolito rígido como un inhibidor directo de la escalabilidad comercial. Se concluye que el sistema de diagnóstico propuesto reduce la incertidumbre técnica en el proceso de toma de decisiones, proporcionando hojas de ruta estratégicas verídicas que facilitan una transición ordenada, segura y legalmente responsable hacia la nube para el tejido empresarial colombiano.

Palabras clave: Microservicios, Madurez digital, AWS CAF, Domain-Driven Design, E-commerce, MiPYMES, Sistemas de diagnóstico.

Abstract

This research paper addresses the lack of technical and organizational knowledge faced by Micro, Small, and Medium Enterprises (MSMEs) in the e-commerce sector in Colombia when attempting to migrate monolithic applications to microservices architectures. This knowledge gap generates operational uncertainty and legal risks that hinder technological modernization. The main objective of this study was to develop an AI-assisted Decision Support System (DSS) to evaluate the feasibility of such migration. The methodology employed was a mixed-methods approach with a descriptive-propositive scope, centered on the design of a functional Minimum Viable Product (MVP) on the Amazon Quick architecture (Flows, Agents, and Spaces), based on the AWS Cloud Adoption Framework (CAF) and Domain-Driven Design (DDD) principles.

The results obtained through pilot validation revealed significant maturity gaps: the company Glow Scrubs achieved a Global Index of 16% (Initial level), showing a critical legal risk (0%) due to non-compliance with Law 1581 of 2012; meanwhile, IAngel SAS reached 55% (In Development level), highlighting human capital as its main competitive strength. The most relevant transversal finding was the identification of the rigid monolith as a direct inhibitor of commercial scalability. It is concluded that the proposed diagnostic system reduces technical uncertainty in the decision-making process, providing accurate strategic roadmaps that facilitate an orderly, secure, and legally responsible transition to the cloud for the Colombian business fabric.

Keywords: Microservices, Digital maturity, AWS CAF, Domain-Driven Design, E-commerce, Colombian MSMEs, Diagnostic systems.

Introducción

La transformación digital y la adopción de tecnologías de computación en la nube se han consolidado como pilares fundamentales para la competitividad empresarial en la era de la Industria 4.0. Según el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (2023), el fortalecimiento de las capacidades digitales es una prioridad nacional; no obstante, para las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (MiPYMES) del sector E-commerce en Colombia, este proceso representa un desafío de alta complejidad que trasciende la simple adquisición de infraestructura. La transición desde arquitecturas monolíticas rígidas hacia modelos de microservicios distribuidos suele verse obstaculizada por lo que Bernal-Díaz et al. (2025) identifican como una brecha crítica de factores internos, donde la falta de visión integral entre el talento humano y la capacidad tecnológica instalada genera incertidumbre operativa y financiera.

La problemática central de esta investigación radica en la incapacidad de las MiPYMES para evaluar con veracidad su estado de madurez técnica y organizacional frente a los estándares globales de la nube. Esta situación, agravada por la dependencia de procesos operativos manuales y sistemas de software altamente acoplados, expone a las organizaciones a riesgos operacionales y legales significativos, especialmente en lo relacionado con el cumplimiento de la Ley 1581 de 2012 sobre protección de datos personales. Como señalan Peres et al. (2020), la necesidad de herramientas de diagnóstico simplificadas es vital para que las empresas no emprendan migraciones desordenadas que incrementen su deuda técnica. En este contexto, resulta necesario el desarrollo de sistemas que permitan caracterizar la realidad de la empresa antes de ejecutar cambios estructurales en su arquitectura de software.

El objetivo general de este trabajo fue desarrollar un sistema de diagnóstico asistido por inteligencia artificial que permitiera determinar la viabilidad de migración hacia microservicios. Para ello, se integraron marcos de referencia como el AWS Cloud Adoption Framework (CAF) y los principios de Domain-Driven Design (DDD), los cuales, según Alshuqayran et al. (2025), son esenciales para la recuperación y evolución de arquitecturas modernas. El aporte innovador de esta investigación reside en la automatización de dicho diagnóstico mediante un Sistema de Soporte a la Decisión (DSS) construido sobre el ambiente de desarrollo de Amazon Quick, el cual permite transformar datos cualitativos en una hoja de ruta estratégica (Roadmap) técnica y legalmente responsable. Mediante la integración de sistemas de inteligencia artificial con flujos de trabajo y fuentes de conocimiento.

Los hallazgos derivados de la validación del sistema confirmaron que la viabilidad de migración es un espectro condicionado por la madurez organizacional y la madurez técnica de cada empresa. Mientras que empresas con una estructura joven y alta dependencia de terceros presentaron un Índice de Madurez bajo del 16% (Glow Scrubs), evidenciando riesgos críticos en gobernanza, aquellas con un capital humano orientado a la tecnología alcanzaron un nivel intermedio del 55% (IAngel SAS). Estos resultados demuestran que el sistema no solo califica, sino que identifica barreras invisibles como la "ceguera legal" y el acoplamiento excesivo, validando la tesis de que un diagnóstico automatizado es el primer paso necesario para una migración exitosa.

Para abordar esta problemática de manera detallada, el presente documento se estructura de la siguiente manera: en primera instancia, se presenta el planteamiento del problema y la justificación del estudio. Posteriormente, se incluye un glosario de términos técnicos y el marco teórico-referencial fundamentado en los estándares del NIST (2011) y el diseño orientado al dominio. La sección metodológica describe el desarrollo del MVP sobre la arquitectura de Amazon

Desarrollo de un sistema de diagnóstico para evaluar la viabilidad de migración de arquitecturas monolíticas hacia microservicios en la nube: Caso MiPYMES del sector E-commerce en Colombia.

1
0

Quick y las pruebas funcionales que se realizaron, seguida por la presentación y el análisis de los resultados obtenidos en las pruebas piloto. Finalmente, se expone la propuesta de solución, la discusión frente a la literatura de autores como Hossain et al. (2023) y el plan de divulgación, concluyendo con una síntesis de los hallazgos que reafirman la utilidad del sistema para el fortalecimiento del tejido empresarial colombiano.

Desarrollo de un sistema de diagnóstico para evaluar la viabilidad de migración de arquitecturas monolíticas hacia microservicios en la nube: Caso MiPYMES del sector E-commerce en Colombia.	1
	1

Marco teórico

La base teórica de esta investigación se establece en la intersección de la gestión tecnológica empresarial a pequeña escala y las tecnologías de computación en la nube. Para dar inicio, es importante definir las empresas que serán objeto de estudio: las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (MiPYMES) en el contexto colombiano. Según la Ley 905 (2004) y el Decreto 957 (2019), estas se clasifican como unidades de explotación económica clasificadas por su volumen de ingresos anuales y su cantidad de empleados. Datos del Decreto 905 (2019) indican que según su cantidad de empleados éstas se encuentran en los rangos de uno (1) a cincuenta (50) trabajadores. Además, según datos del Decreto 957 (2019) se clasifican como MiPYMES empresas del sector comercio que cuentan con ingresos por actividades ordinarias menores a dos millones ciento sesenta mil seiscientos noventa y dos Unidades de Valor Tributario (2'160.692 UVT) que vendrían siendo equivalentes a aproximadamente ciento trece mil ciento sesenta y cuatro millones de pesos colombianos (\$113.164'000,000) según el valor de UVT que entrega la Resolución 000238 de la DIAN (2025) para el 2026. Definiendo de esta manera a las MiPYMES como empresas en los rangos inferiores respecto a cantidad de empleados y a cantidad de ingresos por actividades ordinarias.

Para delimitar el alcance de la investigación se trabajará enfocado a las MiPYMES del sector E-commerce. Para esto es imperativo definir este término. De acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE] (2019), el comercio electrónico se define como la venta o compra de bienes o servicios realizada a través de redes informáticas mediante métodos específicamente diseñados para recibir o colocar pedidos. Esta actividad implica una

Desarrollo de un sistema de diagnóstico para evaluar la viabilidad de migración de arquitecturas monolíticas hacia microservicios en la nube: Caso MiPYMES del sector E-commerce en Colombia.	1 2
---	--------

infraestructura digital capaz de gestionar catálogos, pagos y logística en tiempo real. En el ecosistema de las PYMES colombianas, el E-commerce no es solo un canal de ventas fundamental, sino un sistema de datos críticos que exige una arquitectura de software robusta para garantizar la disponibilidad y la confianza del consumidor.

Teniendo claro lo que son las MiPYMES y lo que es el E-commerce podemos pasar a entender su relación con tecnologías y metodologías innovadoras. Las MiPYMES componen un porcentaje importante de la economía colombiana y según la encuesta de desempeño de Asociación Colombiana de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas Seccional Atlántico [ACOPI] (2025) el panorama de innovación de las MiPYMES está viendo un incremento sustancial. A pesar de esto, se ha logrado identificar una dificultad de parte de estas empresas para adoptar nuevas tecnologías a nivel software dentro de sus procesos. Cómo identificó correctamente la ACOPI (2025):

Por su parte, la tecnología blanda, que incluye software, metodologías o sistemas de gestión, muestra una percepción dividida. Aunque el 47,06% la califica como “nada importante”, un 17,65% la considera “medianamente importante” y un 11,76% “importante”. Esta tendencia revela una brecha digital significativa dentro del segmento MiPyme, donde muchas empresas aún no reconocen plenamente el valor estratégico de la innovación tecnológica y la gestión digital en sus procesos. (p. 15)

Desarrollo de un sistema de diagnóstico para evaluar la viabilidad de migración de arquitecturas monolíticas hacia microservicios en la nube: Caso MiPYMES del sector E-commerce en Colombia. **1**
3

Se hace evidente la existencia de una falta de conocimiento y/o una resistencia al cambio, en las empresas objeto de estudio, respecto a la innovación tecnológica y al valor que trae consigo.

Respecto a esto Bernal-Díaz et al. (2025) sostienen que la adopción de tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) y la Inteligencia Artificial está fuertemente ligada a la madurez operacional interna y la disponibilidad de recursos dentro de la empresa, factores que determinan si una MiPYME posee la capacidad estructural para emprender procesos de modernización digital sostenibles.

En esta investigación, la computación en la nube es considerada como una innovación tecnológica de alto valor para las MiPYMES en Colombia. Por esta razón será el motivo principal de estudio. En este contexto la computación en la nube será la tecnología sobre la cual se buscará entender su relación con las MiPYMES. Para esto debemos definir la computación en la nube. De acuerdo con el National Institute of Standards and Technology (NIST), la nube es un modelo que permite el acceso bajo demanda a un conjunto de recursos computacionales configurables que pueden gestionarse con un esfuerzo mínimo (Mell & Grance, 2011). Complementario a los modelos tradicionales, ha cobrado relevancia el paradigma de computación sin servidor o Serverless, posible gracias a la computación en la nube. Tecnologías como AWS Lambda permiten a las organizaciones ejecutar código sin gestionar infraestructura física o virtual (Amazon Web Services, s. f.), lo cual resulta ideal para las MiPYMES al optimizar la eficiencia operativa y reducir costos, pagando estrictamente por el tiempo de ejecución consumido. La transición hacia estos modelos representa un cambio de paradigma: pasar de la propiedad de activos físicos a un

consumo elástico, lo cual es fundamental para manejar las fluctuaciones de tráfico propias del comercio electrónico.

No obstante, como bien se señala en párrafos anteriores se ha identificado una resistencia y/o indiferencia respecto a la adopción de estas tecnologías por parte de las empresas objeto del estudio en la investigación ACOPI (2025). Una razón para esto es que la adopción de la nube se ve limitada por las arquitecturas de software heredadas. Tradicionalmente, las MiPYMES han operado bajo un esquema de arquitectura monolítica, este modelo se caracteriza por integrar todos los componentes funcionales; como la interfaz de usuario, la lógica de negocio y el acceso a datos, en un único artefacto de software que se ejecuta como un solo proceso, lo que implica que sus componentes están fuertemente ligados. (Hossain et al. 2023). Si bien el monolito facilita el desarrollo inicial, genera una falta de agilidad operativa crítica. Frente a esta limitación este estudio propone el paradigma de los microservicios. Según Hossain et al. (2023), este enfoque propone la descomposición de la aplicación monolítica en una suite de servicios pequeños y autónomos que se comunican a través de mecanismos ligeros, permitiendo que cada unidad funcional se despliegue y escale de forma independiente. Esta independencia de despliegue es beneficiosa para el E-commerce, permitiendo, por ejemplo, el escalamiento independiente de módulos críticos como la capacidad de las bases de datos o de procesamiento durante picos de demanda como el Black Friday. Garantizando la estabilidad y disponibilidad del sistema sin necesidad de replicar toda la infraestructura. La migración hacia este modelo no es solo un reto de codificación, sino de estrategia, pues requiere evaluar si la organización cuenta con la madurez operativa necesaria (Peres et al., 2020).

Tomando en cuenta lo propuesto por investigadores como Peres et al. (2020) y Bernal-Díaz et al. (2025) respecto a la necesidad de evaluar múltiples dimensiones empresariales, para asegurar el éxito de la adopción de nuevas tecnologías; se hace evidente la necesidad de generar un marco de referencia para la medición de la capacidad de una MiPYME para adoptar un modelo de microservicios alojados en la nube. Esta investigación propone una evaluación de la madurez tecnológica, cultural y operativa de la empresa, con el objetivo de medir su preparación para una migración de arquitecturas monolíticas a microservicios alojados en la nube. Para estructurar esta evaluación de madurez, el AWS Cloud Adoption Framework (CAF) proporciona un marco de referencia integral organizado en seis perspectivas: Negocio, Personas, Gobernanza, Plataforma, Seguridad y Operaciones (Amazon Web Services, s.f.). El uso del AWS CAF permite que el sistema de diagnóstico vaya más allá de lo técnico, como recomiendan Peres et al. (2020) y Bernal-Díaz et al. (2025), evaluando si el talento humano está alineado con la tecnología que se quiere adoptar. Esta visión se complementa con la metodología de Domain-Driven Design (DDD), la cual permite alinear el diseño del software con el dominio del negocio (Evans, 2003). Conceptos como los Bounded Contexts son fundamentales para identificar qué partes del monolito pueden convertirse en microservicios independientes, optimizando la mantenibilidad y escalabilidad de arquitecturas complejas (Alshuqayran et al., 2025; Li et al., 2025).

Para que esta investigación pueda ser validada se propone el desarrollo de un mínimo producto viable que automatice la definición de la madurez empresarial, mediante el análisis de dimensiones de una empresa ejemplo, y la generación de recomendaciones personalizadas para una posible

migración a microservicios en la nube de parte de la misma empresa. La automatización de este diagnóstico se fundamenta en la teoría de los Sistemas de Apoyo a la Toma de Decisiones (DSS), los cuales permiten estructurar problemas multivariable mediante motores de inferencia que transforman reglas de conocimiento en diagnósticos automatizados (Kumar et al., 2025). Al integrar técnicas de lógica de ponderación, es posible generar un Índice de Madurez Empresarial que reduzca la incertidumbre en la toma de decisiones estratégicas (Wang et al., 2025; Singh et al., 2025).

Finalmente, para asegurar el cumplimiento de la legislación vigente, se debe exponer el marco normativo colombiano que impone requisitos de seguridad en sistemas de información. La Ley 1581 de 2012 establece el régimen de protección de datos personales, exigiendo que cualquier transición tecnológica garantice la privacidad de la información (Congreso de la República de Colombia, 2012). Esto es crítico en el E-commerce debido al tratamiento constante de datos de clientes. Por tanto, el diagnóstico y el desarrollo del mínimo producto viable debe incluir la verificación del cumplimiento legal (Ley 1581 de 2012) y los estándares impulsados por el Ministerio TIC (2023) y el CONPES (2020), asegurando que la modernización sea técnicamente eficiente y legalmente robusta según las metas de productividad nacional (ACOPI, 2025).

Estado del arte (Metodología PRISMA)

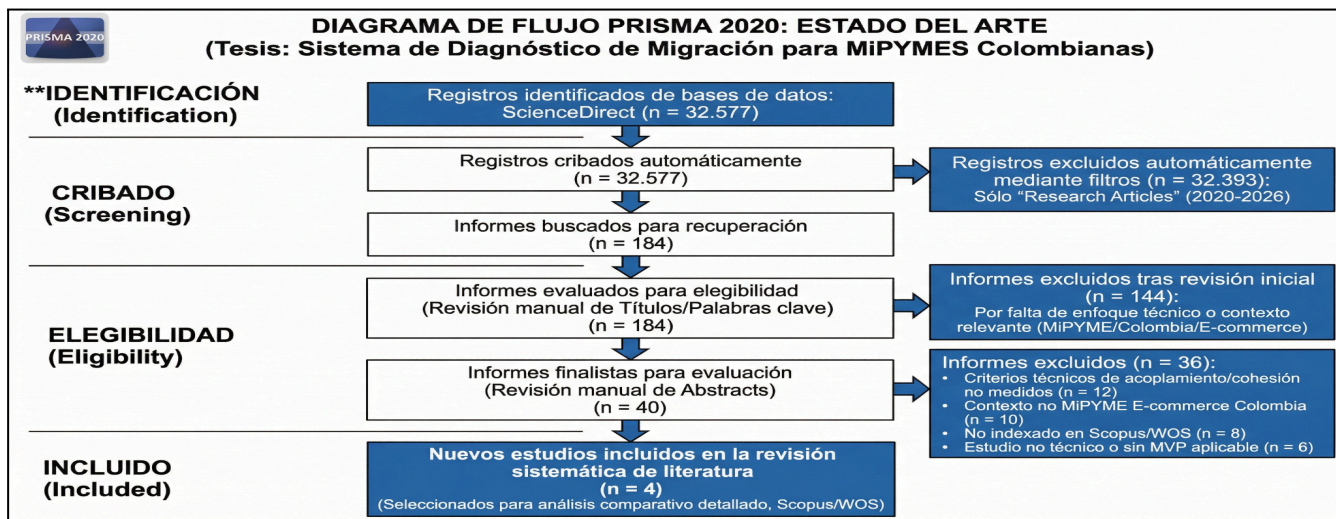
La construcción del estado del arte se realizó fundamentada en una revisión sistemática de literatura usando la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Este enfoque garantiza un proceso de selección de antecedentes transparente y replicable. Además, este enfoque permite situar la investigación en la frontera del conocimiento actual (2020-2026) facilitando la identificación de factores que definen la preparación de una MiPYME para asumir una migración de arquitecturas monolíticas hacia microservicios en la nube usando DSS y DDD para apoyar el proceso.

El proceso de búsqueda se realizó de manera exclusiva en la base de datos ScienceDirect, utilizando el acceso institucional de la Universidad Ean. Se ejecutaron cuatro ecuaciones de búsqueda estratégicas: 1) "Microservices" AND "Cloud Computing" AND "Colombia", 2) "Microservices" AND "Colombia", 3) "domain driven designs" y 4) "decision support systems".

De acuerdo con el flujo de selección, en la fase de Identificación se obtuvieron 32.577 registros totales. En la fase de Tamizaje (Screening), se aplicaron filtros automáticos para limitar los resultados a "Research articles" y años de publicación 2020-2026, reduciendo la muestra a 184 artículos potencialmente relevantes. Tras la revisión de títulos y palabras clave, se procedió a la fase de Elegibilidad, donde se analizaron los abstracts de 40 artículos (10 por cada eje temático). Finalmente, se incluyeron cuatro artículos clave indexados en Scopus/WOS para el análisis comparativo detallado, los cuales representan la base científica que sustenta la lógica del sistema de diagnóstico propuesto.

Figura 1

Diagrama de flujo PRISMA 2020 de la revisión sistemática de literatura para el marco teórico.



Nota. El diagrama ilustra el proceso de identificación, tamizaje y selección de los artículos científicos utilizados para el estado del arte. Los datos cuantitativos presentados provienen de la revisión sistemática realizada en ScienceDirect. La representación gráfica de este flujo fue generada con el apoyo de la inteligencia artificial Gemini, utilizando el modelo Nano Banana 2 para la visualización técnica. Elaboración propia asistida por IA.

La literatura científica reciente revela una tendencia marcada hacia la convergencia de la gestión tecnológica empresarial de micro a mediana escala y las tecnologías de punta. El estudio de Peres et al. (2020) establece una base crítica al analizar la Inteligencia Artificial Industrial; su revisión sistemática subraya que el éxito de las tecnologías de vanguardia no es un problema puramente técnico, sino que depende de desafíos organizacionales y niveles de madurez interna. Esta visión es complementada por Hossain et al. (2023), quienes enfocan la discusión en el paradigma de microservicios, identificando como la migración desde sistemas monolíticos introduce

complejidades en la orquestación y latencia que requieren una evaluación previa de la infraestructura.

En el ámbito metodológico, el análisis de arquitecturas mediante modelos preestablecidos se ha consolidado como la estrategia predilecta. Alshuqayran et al. (2025) demuestran que es posible evaluar arquitecturas de microservicios utilizando métricas de acoplamiento y cohesión, validando la posibilidad de automatizar diagnósticos técnicos. No obstante, para que estos modelos sean aplicables en el contexto regional, deben alinearse con la realidad de las empresas locales. En este punto, Bernal-Díaz et al. (2025) aportan evidencia empírica sobre las MiPYMES en Colombia, concluyendo que la disponibilidad de recursos económicos y la cultura organizacional son los predictores reales de una transformación digital exitosa.

A continuación, se presenta la síntesis comparativa de los estudios fundamentales:

Tabla 1 Comparación de estudios seleccionados para la realización del marco teórico.

Autor(es) / Año	Título del estudio	Objetivo principal	Metodología empleada	Variables analizadas	Principales hallazgos	Limitaciones reportadas	Relación con el proyecto actual
Peres et al. (2020)	Industrial Artificial Intelligence in Industry 4.0: Systematic review	Identificar desafíos y perspectivas de la IA y tecnologías 4.0.	Revisión sistemática de literatura (SLR).	Cultura organizacional, madurez de procesos y preparación para el cambio	La adopción tecnológica falla si no hay una evaluación previa de la capacidad interna.	Enfoque macro que no detalla guías de implementación para MiPYMES.	Justifica la dimensión "Personas" y "Negocio" del AWS CAF en el diagnóstico.

Hossain et al. (2023)	The role of microservice approach in edge computing	Evaluar oportunidad es y retos de los microservicios en la computación.	Definir y evaluar el modelo MiSAR para arquitecturas de software.	Latencia de red, escalabilidad de componentes y consumo de recursos.	Los microservicios son el motor de la agilidad, pero requieren alta preparación técnica.	Se centra en entornos de borde (edge), omitiendo el sector comercio.	Fundamenta las métricas de la dimensión "Plataforma" y "Operaciones".
Alshuqayran et al. (2025)	A model-driven architecture approach for recovering microservices	Descripción breve del objetivo del estudio.	Arquitectura dirigida por modelos (MDA).	Nivel de acoplamiento, cohesión de módulos y complejidad de descomposición..	Es posible automatizar la evaluación de arquitecturas complejas mediante modelos.	Alta complejidad en la configuración inicial del modelo evaluador.	Provee el sustento técnico para el algoritmo de evaluación de arquitectura (DDD).
Bernal-Díaz et al. (2025)	Factores que influyen en la adopción de tecnologías 4.0	Analizar la adopción tecnológica en MiPYMES colombianas.	Cuantitativa, descriptiva, no experimental.	Recursos financieros, infraestructura TI actual y madurez operativa.	La madurez operativa es el factor determinante para la modernización en Colombia.	Limitado geográficamente a una región del país (Boyacá).	Valida las dimensiones de costo y recursos que medirá el sistema de diagnóstico.

Nota. Elaboración propia.

Tras el análisis comparativo, se identifica un vacío de conocimiento específico: la inexistencia de un instrumento de diagnóstico unificado que traduzca los requerimientos técnicos para una migración a microservicios en la nube, como el acoplamiento y la latencia, al lenguaje operativo y de madurez digital de una MiPYME del sector E-commerce en Colombia como bien resalta Bernal-Díaz et al. (2025). Mientras que los estudios globales se centran en la "perfección técnica"

Desarrollo de un sistema de diagnóstico para evaluar la viabilidad de migración de arquitecturas monolíticas hacia microservicios en la nube: Caso MiPYMES del sector E-commerce en Colombia.	2 1
---	--------

de la arquitectura, y los estudios locales se enfocan en la "percepción de madurez", no existe un sistema experto que integre ambas visiones mediante un MVP funcional.

Esta investigación se propone llenar dicho vacío, utilizando las variables identificadas en la Tabla 1 (Cultura, Recursos, Acoplamiento y Escalabilidad) y factores adaptados del CAF de AWS (Amazon Web Services, s.f.) como los pilares del Índice de Madurez que el software calculará automáticamente. De esta forma, se asegura una trazabilidad total entre la evidencia científica y el sistema de apoyo a la toma de decisiones desarrollado, permitiendo que la recomendación de migración deje de ser una especulación técnica para convertirse en una decisión estratégica basada en datos.

Desarrollo de un sistema de diagnóstico para evaluar la viabilidad de migración de arquitecturas monolíticas hacia microservicios en la nube: Caso MiPYMES del sector E-commerce en Colombia.	2 2
---	--------

Metodología

Enfoque y alcance de la investigación

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque mixto. Este enfoque permite recolectar datos cualitativos sobre la cultura organizacional y procesos operativos, para luego transformarlos en datos cuantitativos mediante el desarrollo de un índice de madurez técnica. Según Bernal-Díaz et al. (2025), el análisis de factores internos en las PYMES requiere una visión integral que combine la realidad del talento humano con la capacidad tecnológica instalada.

El diseño de la investigación es no experimental y transversal, debido a que se observarán las variables de madurez empresarial en su contexto natural y en un único momento del tiempo, sin manipular activamente las condiciones de las empresas participantes. El alcance es descriptivo-propositivo, puesto que busca caracterizar el estado actual de las PYMES del sector E-commerce en Colombia respecto a su madurez digital y, posteriormente, proponer un sistema de diagnóstico como solución a la problemática de migración desinformada hacia la nube.

La investigación se ejecutará en cuatro fases:

- Fase de Caracterización: Identificación de variables de madurez mediante revisión documental de los estándares del NIST (2011) y marcos de adopción de nube como el CAF de AWS.

- Fase de Modelado: Diseño del algoritmo de ponderación que asignará pesos específicos a las dimensiones de Personas y Operaciones.
- Fase de Desarrollo: Construcción de un prototipo (MVP) en un entorno de nube que automatice la generación de la hoja de ruta de migración.
- Fase de Validación: Aplicación de pruebas de funcionalidad y usabilidad del sistema.

La población objeto de estudio está constituida por las micro, pequeñas y medianas empresas (MiPYMES) del sector E-commerce en Colombia, definidas bajo los criterios de ingresos del Decreto 957 de 2019. Debido a la amplitud de la población, se utilizará un muestreo no probabilístico por conveniencia, seleccionando un grupo de empresas que permitan la validación del prototipo funcional (MVP) y la aplicación del instrumento de diagnóstico inicial.

Instrumentos

Para la recolección y procesamiento de la información, se diseñará un cuestionario de autodiagnóstico estructurado; soportado por un motor de apoyo a la toma de decisiones, en el cual los directivos proveerán la información de su empresa y esta será procesada con el objetivo de que el sistema entregue como resultado un nivel de madurez de su empresa frente a una posible migración a la nube y recomendaciones para mejorar este nivel de madurez empresarial. Este instrumento se fundamenta en el cruce de las perspectivas del AWS Cloud Adoption Framework (CAF) con los pilares técnicos del Domain-Driven Design (DDD) propuestos por Alshuqayran et

al. (2025) y los obstáculos que enfrentan las PYMES de Colombia para adoptar nuevas tecnologías identificados por Bernal-Díaz et al. (2025). El instrumento evaluará cuatro dimensiones:

- Dimensión Organizacional y de Personas: Evalúa la disposición al cambio, las competencias digitales del equipo técnico, la capacidad del equipo técnico para adoptar nuevas tecnologías y el alineamiento de la migración con los objetivos de negocio (ROI y agilidad comercial).
- Dimensión de Gobernanza y Procesos: Analiza la madurez de los procesos tecnológicos actuales (la existencia de documentación y metodologías internas), la gestión de incidentes y el cumplimiento normativo de la Ley 1581 de 2012 en el manejo de datos de clientes de E-commerce.
- Dimensión Técnica-Arquitectural: Evalúa el nivel de acoplamiento del monolito actual, la claridad en la definición de los dominios de negocio y la viabilidad de descomponer funciones (ej. pagos, inventarios) en servicios independientes.
- Dimensión de Infraestructura y Seguridad: Mide la capacidad actual de los servidores (On-premise o VPS) y los protocolos de seguridad en vigencia, determinando la preparación para un modelo Serverless o de microservicios gestionados.

Para la implementación técnica del instrumento, se ha diseñado una arquitectura serverless nativa en Amazon Web Services (AWS), estructurada en tres capas funcionales que garantizan la integridad, escalabilidad y precisión del diagnóstico:

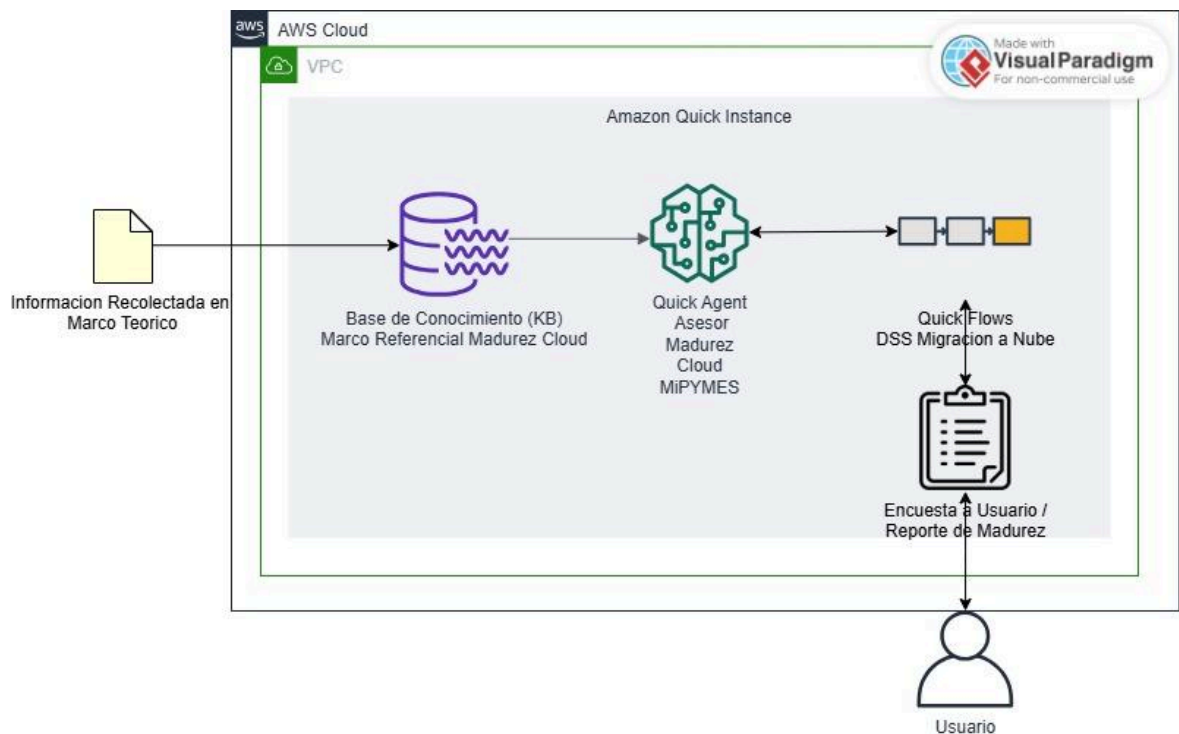
1. Capa de Recolección de Datos: La interfaz de usuario se despliega mediante Amazon Quick Flows, permitiendo una captura de datos estructurada a través de un flujo lógico de

entrada. Esta capa actúa como el punto de contacto para los usuarios, recolectando variables cuantitativas y cualitativas que alimentan el motor de inferencia.

2. Capa de Inteligencia y Conocimiento: El procesamiento de la información se realiza mediante un agente de inteligencia artificial configurado en Quick Agents. Este componente utiliza una arquitectura de Generación Aumentada por Recuperación (RAG), vinculando el agente de inteligencia artificial a una base de conocimientos (Knowledge Base) alojada en Amazon Quick Spaces. Dicha base contiene la síntesis teórica del AWS CAF, los principios de DDD de Alshuqayran et al. (2025) y los hallazgos sobre MiPYMES de Bernal-Díaz et al. (2025). El agente cruza las respuestas del usuario con este marco referencial para realizar una inferencia semántica y técnica del estado de la empresa.
3. Capa de Análisis y Visualización: Los resultados del motor de inferencia se consolidan en Amazon Quick Flows. Esta capa transforma los vectores de datos y las recomendaciones cualitativas en un informe ejecutivo de madurez. Se emplea un modelo de puntuación ponderada para calcular los niveles Inicial, En Desarrollo y Optimizado, proporcionando una visualización clara de la brecha tecnológica y un plan estratégico basado en patrones de arquitectura.

Figura 2

Diagrama de Arquitectura del DSS de Migración a la Nube



Nota. El diagrama ilustra la arquitectura definida para el instrumento que recolecta la información del usuario, analiza la información usando su Base de conocimiento (KB), y genera un reporte de madurez para una posible migración a la nube. Elaboración propia usando la herramienta Visual Paradigm.

Esta arquitectura garantiza que las recomendaciones no sean generadas de manera genérica, sino que resultan de un proceso de razonamiento automatizado alineado estrictamente con el marco teórico propuesto para el contexto de las MiPYMES en Colombia.

La validez y confiabilidad del instrumento se garantizará mediante un proceso de prueba Piloto de Usabilidad y Flujo. Antes de la aplicación masiva, se realizará una prueba piloto con al menos

dos MiPYMES del sector E-commerce. Esto permitirá validar que el lenguaje técnico sea comprensible para los tomadores de decisiones y que el motor de inferencia genere recomendaciones coherentes con la realidad de las empresas colombianas (ACOPI, 2025).

Técnicas para el análisis de la información

El análisis de la información en el presente proyecto se fundamenta en un enfoque cualitativo-técnico, orientado a evaluar el correcto funcionamiento del chatbot diseñado para micro, pequeñas y medianas empresas (mipymes). Dado que el objetivo principal del proyecto no es realizar inferencias estadísticas sino validar el desempeño del sistema, no se emplea ningún paquete estadístico especializado. En su lugar, se adoptan técnicas basadas en pruebas de software y análisis de comportamiento del sistema, alineadas con prácticas de aseguramiento de calidad propuestas en estándares como ISO/IEC 25010.

En primer lugar, se aplicaron pruebas manuales, abarcando tanto happy paths (escenarios ideales de uso) como caminos alternativos y casos límite. Estas pruebas permitieron verificar la correcta ejecución del flujo del cuestionario, asegurando que el chatbot clasifique adecuadamente el estado de la empresa entre niveles como “Inicial” y “Optimizado”. Asimismo, se evaluó la coherencia de las respuestas generadas frente a las entradas del usuario, siguiendo principios de validación funcional descritos en Software Testing and Quality Assurance.

En segundo lugar, se llevaron a cabo pruebas de carga, con el fin de analizar el comportamiento del sistema ante múltiples solicitudes simultáneas. Estas pruebas permitieron identificar posibles cuellos de botella en la infraestructura y garantizar la estabilidad del servicio bajo condiciones de

uso intensivo. Para este propósito, se consideraron lineamientos de rendimiento definidos en ISTQB.

Adicionalmente, se incorporaron pruebas de integración, verificando la correcta comunicación entre los servicios backend (incluyendo la lógica del chatbot y los servicios en la nube). También se realizaron pruebas de usabilidad, enfocadas en evaluar la experiencia del usuario durante la interacción con el cuestionario, y pruebas de seguridad básicas, orientadas a validar el acceso restringido mediante credenciales.

El análisis de la información obtenida a partir de estas pruebas se realizó mediante la revisión sistemática de resultados, registros de ejecución y observación directa del comportamiento del sistema. Se identificaron patrones de error, tiempos de respuesta y consistencia en los resultados, lo que permitió establecer conclusiones sobre la robustez, confiabilidad y eficiencia del chatbot.

A Continuación se deja el listado de pruebas realizadas en el proyecto.

Tabla 2 Checklist pruebas Funcionales del sistema.

Pruebas Funcionales								
ID	Nombre de la prueba	Descripción	Estado	Observaciones	Comentarios	Mejoras	Errores detectados	Iteración
1	Entendimiento de palabras	Verificación de la entrada de caracteres al chat	Óptimo	N/A	N/A	Ninguno	Ninguno	V1
2	Entendi	Verifica	Óptimo	N/A	N/A	Ningun	Ningun	V1

	miento caracter es especial es	ción de la entrada de caracter es al chat				o	o	
3	Entendi miento de context os complej os	Verifica ción de lectura y cataloga ción de la informa ción	En desarrol lo	N/A	N/A	Aliment ar mejor el Bot para mejorar el entendi miento de casos complej os	Algunas respuest as ambigu as respecto a respuest as dadas en el cuestion ario	V5
4	Funcion amiento de los campos de encuest a	Verifica ción de funcion amiento correcto de cada campo a complet ar	Óptimo	N/A	N/A	Agregar mas pregunt as al cuestion ario	Ningun o	V1
5	Funcion amiento de guardad o de informa ción	Verifica ción del guardad o de la entrada de informa ción suminist rada por el usuario	Óptimo	N/A	N/A	Ningun o	Ningun o	V8
6	Respues tas	Verifica ción de	En desarrol	N/A	N/A	Aliment ar al bot	Ningun o	V8

	coherentes al cuestionario	la consolidación de información en las respuestas basadas en lo informado por el usuario	lo			con mas información para proporcionar respuestas mas interesantes		
7	Manejo del contexto dado al ChatBot	Verificación del seguimiento de la charla con el cliente sobre el mismo canal	En desarrollo	N/A	N/A	Poder mantener un charla constante después de la respuestas del cuestionario	Ninguno	V8

Nota. Elaboración propia.

Tabla 3 Checklist pruebas No Funcionales del sistema.

Pruebas No Funcionales								
ID	Nombre de la prueba	Descripción	Estado	Observaciones	Comentarios	Mejoras	Errores detectados	Iteración

1	Pruebas de carga	Verificación de cuantas consultas simultáneas puede soportar el ChatBot	En desarrollo	N/A	Se realizaron pruebas con 10 consultas al tiempo	Realizar mas cargas con mas cantidad de usuarios simultáneos	Ninguno	V1
2	Diseño del Chat	Verificación de la experiencia de usuario de cara al Chat	Óptimo	N/A	N/A	A futuro posible integración con un portal web	Ninguno	V1
3	Creación del usuario	Verificación del comportamiento con varios usuarios con acceso al sistema	En desarrollo	N/A	Tener en consideración si se crean varios o 1 por cliente	N/A	Ninguno	V1

Nota. Elaboración propia.

Desarrollo de un sistema de diagnóstico para evaluar la viabilidad de migración de arquitecturas monolíticas hacia microservicios en la nube: Caso MiPYMES del sector E-commerce en Colombia.	3 2
---	----------------------

Resultados

Los hallazgos de la presente investigación son el resultado de la implementación técnica de un prototipo funcional y su validación mediante pruebas piloto en entornos empresariales reales. Esta sección detalla el desempeño del sistema y los datos obtenidos en cada aplicación.

Desarrollo de la Infraestructura de Diagnóstico (MVP)

Se consolidó exitosamente un Producto Mínimo Viable (MVP) sobre la plataforma de Amazon Quick, usando la arquitectura planteada en la sección “Instrumentos”. El sistema integra un motor de inteligencia artificial (Quick Agents) alimentado por el Marco Estratégico de Madurez Cloud 2026 a un flujo de trabajo en el cual se recolectan las respuestas del usuario y se le entrega a este el índice de madurez de su empresa. El hallazgo técnico principal en esta fase fue la capacidad del agente para realizar inferencias basadas en búsquedas semánticas sobre los pilares del AWS CAF, el DDD y los factores expuestos por Bernal-Díaz et al. (2025), permitiendo que el diagnóstico no dependa de reglas rígidas, sino de un análisis contextual de las respuestas del usuario. Se realizaron dos (2) versiones distintas del formulario que se usa para recolectar la información.

Aplicación de Pruebas Piloto y Casos de Estudio

Para validar la efectividad del sistema y responder al objetivo de evaluar la viabilidad de migración, se inició una fase de pruebas con MiPYMES del sector E-commerce en Colombia. A continuación, se presentan los resultados obtenidos por cada organización evaluada:

Caso de Estudio 1: Glow Scrubs (Sector Confección)

Desarrollo de un sistema de diagnóstico para evaluar la viabilidad de migración de arquitecturas monolíticas hacia microservicios en la nube: Caso MiPYMES del sector E-commerce en Colombia.

3
3

Contexto: Pequeña empresa joven dedicada a la fabricación y venta de prendas de vestir con una operación digital basada principalmente en redes sociales y un catálogo web estático.

Diagnóstico de Madurez: El sistema procesó la información y arrojó un Índice Global de Madurez del 16%, clasificando a la empresa en un nivel INICIAL.

Tabla 4 Puntajes por Dimensión - Caso Glow Scrubs

Dimensión evaluada	Puntaje	Clasificación
Técnica y Arquitectural	10%	Inicial
Resiliencia y Continuidad	8%	Inicial
Organizacional y Personas	15%	Inicial
Gobernanza y Cumplimiento	0%	Crítico (Riesgo Legal)
Índice Global	16%	INICIAL

Nota. Datos obtenidos del reporte ejecutivo generado por el DSS para Glow Scrubs (2026).

Desarrollo de un sistema de diagnóstico para evaluar la viabilidad de migración de arquitecturas monolíticas hacia microservicios en la nube: Caso MiPYMES del sector E-commerce en Colombia. **3**
4

Hallazgo Crítico: Se identificó una brecha absoluta (0%) en la dimensión de Gobernanza por el incumplimiento de la Ley 1581 de 2012, lo que constituye el principal impedimento antes de iniciar cualquier cambio tecnológico.

Propuesta de Solución: El sistema generó un Roadmap de cuatro fases, priorizando la legalización del manejo de datos y la estabilización de activos en servicios como Amazon S3.

Retroalimentación de Usabilidad: La empresa calificó el reporte como "fácil de entender y con un buen paso a paso". Se sugirió como mejora incluir más detalles sobre el manejo técnico de bases de datos.

Caso de Estudio 2: IAngel SAS (Sector E-commerce)

Contexto: Organización del sector de comercio electrónico que cuenta con una ventaja competitiva en su capital humano, poseyendo un equipo técnico con orientación al desarrollo cloud-native.

Diagnóstico de Madurez: El sistema procesó la información y arrojó un Índice Global de Madurez del 55%, clasificando a la empresa en el nivel EN DESARROLLO.

Tabla 5 Puntajes por Dimensión - Caso IAngel SAS

Dimensión evaluada	Puntaje	Clasificación
Técnica y Arquitectural	45%	En Desarrollo

Resiliencia y Continuidad Operativa	40%	En Desarrollo
Escalabilidad y Rendimiento	35%	Inicial
Gobernanza, Cumplimiento y Personas	60%	En Desarrollo
Índice Global de Madurez Cloud	55%	EN DESARROLLO

Hallazgo Crítico: A pesar de su mayor madurez respecto al primer caso, se identificó una degradación de rendimiento bajo carga alta, lo cual indica una arquitectura monolítica con acoplamiento elevado donde los dominios no escalan de forma independiente. Asimismo, se detectó un riesgo de punto único de falla al almacenar los respaldos (backups) dentro de la misma plataforma operativa.

Propuesta de Solución: El sistema generó un Roadmap estratégico de tres fases, enfatizando la formalización de políticas de privacidad (Ley 1581) y la implementación del Patrón Strangler Fig para extraer la pasarela de pagos como primer microservicio independiente.

Retroalimentación de Usabilidad: El directivo calificó el sistema como una herramienta que brinda bases de conocimiento sólidas sobre el estado actual y soluciones posibles. Destacó que el reporte es consistente con su realidad y que las sugerencias del roadmap lo motivaron a buscar aplicaciones de la nube para su empresa.

Síntesis de Hallazgos: Casos de Estudio

Tras la aplicación del sistema de diagnóstico en dos organizaciones con perfiles distintos, se han identificado patrones relevantes para el sector de las MiPYMES en Colombia. En ambos casos

(Glow Scrubs e IAngel SAS), el sistema detectó brechas críticas en la separación de dominios (DDD) y en la formalización del cumplimiento de la Ley 1581 de 2012. Mientras que en Glow Scrubs (16%) la madurez es inicial en todas las áreas, en IAngel SAS (55%) se observa que el factor humano y técnico es el principal motor de preparación hacia la nube, eliminando la brecha de talento que afecta a gran parte del sector.

Estos resultados preliminares validan que el uso de sistemas de apoyo a la toma de decisiones (DSS) asistidos por IA permite transformar respuestas cualitativas en una hoja de ruta técnica coherente, reduciendo la incertidumbre operativa y motivando a las empresas hacia la modernización tecnológica.

Análisis de resultados

Al interpretar los resultados obtenidos mediante la aplicación de casos de estudio usando el sistema desarrollado en esta investigación. Se encontró que el sistema de diagnóstico permite dar una respuesta integral a la pregunta de investigación, evidenciando que la viabilidad de migración hacia la nube en el sector de las MiPYMES colombianas es una métrica multidimensional que depende tanto de la infraestructura técnica como de la madurez organizacional. Además, se comprobó que el desarrollo de un sistema diagnóstico permite a los directivos de las MiPYMES en Colombia obtener información verídica sobre el estado de madurez técnica y operacional de su empresa, lo que a su vez les permite tomar decisiones informadas respecto a posibles migraciones a servicios en la nube.

Al realizar un análisis comparativo entre los casos de estudio, destaca una brecha de treinta y nueve puntos porcentuales entre el índice global de Glow Scrubs y el de IAngel SAS. Este diferencial numérico refleja la importancia del capital humano como motor de la transformación digital; mientras que Glow Scrubs se encuentra en una etapa inicial crítica con un 16%, por su falta de personal capacitado, IAngel SAS logra posicionarse en un nivel de desarrollo del 55% gracias a la orientación cloud-native de su equipo técnico, lo que valida la premisa de que la preparación del personal es de los principales factores que definen la madurez digital de un negocio.

Uno de los patrones más reveladores identificados en este análisis es la diversidad en las respuestas de la dimensión de Gobernanza y Procesos en las MiPYMES de Colombia; esta dimensión es un factor determinante para la viabilidad de cualquier proyecto de arquitectura de microservicios en la nube, debido a que se relaciona con el cumplimiento de las leyes de protección de datos personales y el manejo de documentación técnica interna. El hecho de que Glow Scrubs presentará un puntaje nulo en esta área expone una vulnerabilidad en el sector E-commerce: el desconocimiento de la Ley 1581 de 2012 respecto al manejo de datos personales. Esta carencia de conocimiento técnico y legal implica que, independientemente de la arquitectura que se pretenda implementar, si no se verifica el cumplimiento de leyes como la Ley 1581 de 2012 la migración planteada carece de un marco legislativo que la soporte. En consecuencia, el sistema de diagnóstico cumple con el propósito de posicionar el cumplimiento normativo no como un trámite administrativo, sino como un requisito fundamental de cualquier hoja de ruta de modernización arquitectónica.

Para cerrar esta sección, el análisis de las respuestas procesadas por Amazon Quick revela que la capacidad de las arquitecturas monolíticas actuales actúan como un inhibidor directo del

Desarrollo de un sistema de diagnóstico para evaluar la viabilidad de migración de arquitecturas monolíticas hacia microservicios en la nube: Caso MiPYMES del sector E-commerce en Colombia.	3 8
---	--------

crecimiento comercial. En ambos casos evaluados se observó una degradación del rendimiento de las arquitecturas actuales ante cargas altas de trabajo, lo que confirma que el acoplamiento excesivo de los dominios de negocio es una barrera compartida por las MiPYMES de E-commerce. Con la retroalimentación obtenida por los usuarios en los casos de estudio se comprobó la consistencia de los resultados con la realidad percibida por las empresas, quienes validaron la veracidad del diagnóstico y el valor de las sugerencias del roadmap, esto permite sugerir la validación de la hipótesis planteada. Demostrando así que un sistema de soporte a la decisión (DSS) que integre marcos globales como el AWS CAF y el diseño orientado al dominio (DDD), es capaz de proporcionar una evaluación verídica de la viabilidad de una migración, reducir el desconocimiento de los requerimientos técnicos para adoptar nuevas tecnologías, y dar herramientas a las organizaciones para que logren una transformación tecnológica estructurada y legalmente responsable.

Propuesta de solución a la problemática

La propuesta de solución que nace de esta investigación se articula como una respuesta directa a la necesidad de las MiPYMES colombianas de pasar de tomar decisiones desde el desconocimiento hacia un modelo de toma de decisiones fundamentado en datos y marcos de referencia globales. El aporte central de este trabajo no se limita a la creación de un sistema de apoyo a la toma de decisiones, sino a la formalización de un sistema de diagnóstico que integra la agilidad de la inteligencia artificial generativa con el rigor de la arquitectura de software. El objetivo general de evaluar la viabilidad de migración cobra sentido al proporcionar a los empresarios una herramienta que reduce la incertidumbre operativa y legal, permitiendo que la transición hacia la nube deje de

ser un riesgo financiero para convertirse en una ventaja competitiva sostenible. Bajo esta premisa, la propuesta se desarrolla a través del análisis de la situación actual, la identificación de oportunidades de mejora y la consolidación de una solución tecnológica propositiva.

A partir del análisis de resultados obtenido en las fases de caracterización y validación, se identifica que la situación actual de las MiPYMES del sector E-commerce en Colombia está marcada por una profunda deuda técnica de la cual no son conscientes. Las organizaciones evaluadas operan bajo esquemas de arquitecturas monolíticas altamente acopladas, donde las reglas de negocio de pagos, gestión de inventarios y logística se encuentran entrelazadas en una sola base de código rígida. Esta realidad se traduce en una incapacidad sistémica para escalar ante picos de demanda, como se evidenció en el caso de Glow Scrubs, donde la infraestructura actual colapsa ante campañas comerciales exitosas, convirtiendo el crecimiento en una amenaza operativa. Esta rigidez técnica no solo afecta el rendimiento, sino que se manifiesta en una falta de resiliencia, donde la ausencia de tolerancia a fallos implica que un error en un módulo secundario puede provocar la caída total del canal de ventas, generando pérdidas económicas directas.

En el ámbito de la gobernanza, la situación actual revela una brecha crítica respecto al cumplimiento normativo nacional. El hallazgo persistente de un bajo índice de madurez en la protección de datos personales indica que las MiPYMES operan bajo un alto riesgo legal. La dependencia de plataformas de terceros para el almacenamiento de información de clientes, sin contar con políticas de privacidad formalizadas bajo la Ley 1581 de 2012, posiciona a estas empresas en una situación de vulnerabilidad ante entes reguladores. Asimismo, la gestión de la infraestructura se percibe mayoritariamente como un gasto operativo en servidores físicos o VPS

tradicionales, ignorando las capacidades de optimización de costos y seguridad que ofrecen los servicios gestionados de la nube. Esta situación actual, caracterizada por la desinformación técnica y el riesgo legal, es el punto de partida que justifica la necesidad de una intervención estructural mediante un sistema experto de diagnóstico.

La identificación de brechas a través del sistema de diagnóstico abre múltiples caminos de oportunidades estratégicas que las MiPYMES pueden capitalizar para mejorar su posicionamiento en el mercado. La principal oportunidad reside en la democratización del conocimiento arquitectónico mediante el uso de herramientas de inteligencia artificial. El caso de IAngel SAS demuestra que, cuando existe una base de capital humano orientada a la tecnología, el diagnóstico actúa como un catalizador que motiva la búsqueda de soluciones de vanguardia. La transición de una infraestructura rígida hacia un modelo serverless representa una oportunidad de optimización financiera sin precedentes para el sector, permitiendo que las pequeñas empresas paguen únicamente por el cómputo utilizado, eliminando el costo de mantenimiento de servidores inactivos y liberando recursos para la innovación en el núcleo del negocio.

Como consecuencia, surge la oportunidad de implementar el diseño orientado al dominio (DDD) como una herramienta de optimización organizacional. Al separar los contextos delimitados del negocio, las empresas pueden empezar a extraer módulos críticos, como la pasarela de pagos, para operarlos como microservicios independientes. Esta estrategia no solo mejora la escalabilidad técnica, sino que permite que los equipos de desarrollo se especialicen en funciones específicas del negocio, aumentando la agilidad para lanzar nuevas funcionalidades. Además, la alineación con el AWS Cloud Adoption Framework (CAF) permite que la MiPYME no solo migre su software, sino

Desarrollo de un sistema de diagnóstico para evaluar la viabilidad de migración de arquitecturas monolíticas hacia microservicios en la nube: Caso MiPYMES del sector E-commerce en Colombia.	4 1
---	--------

que modernice sus procesos de gobernanza y operaciones, integrando la seguridad y la resiliencia desde el diseño. La oportunidad final es la transformación de la MiPYME en una organización resiliente y legalmente responsable, capaz de competir en igualdad de condiciones técnicas con grandes actores del comercio electrónico.

La propuesta concreta de esta investigación consiste en el despliegue y operación de un Sistema de Soporte a la Decisión (DSS) diseñado específicamente para el contexto de las MiPYMES en Colombia. Esta solución se fundamenta en una arquitectura serverless que aprovecha las capacidades de Amazon Quick para automatizar el proceso de consultoría técnica. El núcleo de la propuesta es la integración de un motor de inferencia basado en Quick Agents, el cual utiliza una arquitectura de Generación Aumentada por Recuperación (RAG) para consultar el Marco Estratégico de Madurez Cloud 2026. Este marco referencial es el aporte intelectual más significativo de la investigación, pues traduce los estándares globales del NIST, el AWS CAF y el DDD a la realidad socio-legal y operativa del E-commerce colombiano, asegurando que las recomendaciones del sistema sean verídicas y aplicables.

La solución propuesta transforma la recolección de datos cualitativos en una hoja de ruta estratégica (Roadmap) que guía a la empresa a través de fases incrementales de madurez. En una primera etapa de cumplimiento, el sistema prioriza la formalización de la gobernanza de datos y el cifrado de información mediante servicios de cifrado disponibles en la nube, mitigando el riesgo legal identificado en los resultados. Posteriormente, la propuesta guía a la organización hacia la estabilización de su infraestructura mediante la migración de activos estáticos a Amazon S3 y el uso de Amazon CloudFront para mejorar la latencia en el mercado nacional. La fase final de la

Desarrollo de un sistema de diagnóstico para evaluar la viabilidad de migración de arquitecturas monolíticas hacia microservicios en la nube: Caso MiPYMES del sector E-commerce en Colombia.	4 2
---	--------

solución es la aplicación del patrón Strangler Fig para la descomposición del monolito, donde el sistema experto indica qué dominios de negocio deben ser los primeros en convertirse en microservicios, asegurando una transición de bajo riesgo y alto impacto comercial.

Para garantizar la sostenibilidad de la solución, la propuesta incluye un componente de visualización de datos que permite a los tomadores de decisiones observar su progreso mediante gráficos de radar comparativos. Esta visualización facilita la comprensión de las brechas de capacidad y fomenta una cultura de mejora continua. En conclusión, la propuesta de solución no es solo un evaluador de software, sino un sistema de inteligencia empresarial que empodera a las MiPYMES del sector E-commerce para realizar una migración ordenada, segura y alineada con los objetivos de productividad nacional. Al reducir la incertidumbre técnica y proporcionar un camino claro hacia la modernización, esta investigación cumple su para qué, fortalecer el tejido empresarial colombiano mediante la adopción responsable de las tecnologías de nube.

Discusión

La valoración final de esta investigación permite concluir que el desarrollo de un sistema de apoyo a la toma de decisiones diagnóstico asistido por inteligencia artificial no es solo una solución tecnológica, sino una respuesta necesaria a la asimetría de información que detiene la modernización del tejido empresarial colombiano. Al interpretar qué significan los hallazgos obtenidos, resulta imperativo destacar que la brecha detectada entre Glow Scrubs (16%) e IAngel SAS (55%) evidencia que la viabilidad de migración hacia la nube en las MiPYMES no está

determinada únicamente por la capacidad de inversión financiera, sino por lo que Bernal-Díaz et al. (2025) definen como la madurez de los factores internos. A partir de ello, se constata que el éxito en la adopción de tecnologías 4.0 en el contexto nacional depende críticamente de la existencia de un capital humano con orientación digital, el cual actúa como el principal catalizador para cerrar la brecha de deuda técnica que caracteriza a los sistemas monolíticos actuales.

Estos datos evidencian una realidad preocupante respecto a la dimensión de gobernanza: la "ceguera legal" de las MiPYMES. El hallazgo persistente de puntajes críticos en el cumplimiento de la Ley 1581 de 2012 sugiere que las pequeñas empresas en Colombia han priorizado la funcionalidad comercial sobre la responsabilidad institucional. Esta investigación permite afirmar que la migración a la nube para una organización que ignora la protección de datos no es una modernización, sino una expansión del riesgo. Mientras que la literatura global analizada en el estado del arte, como los estudios de Hossain et al. (2023), se centra en la optimización técnica de microservicios y la latencia en el edge computing, los resultados de este estudio demuestran que, en las MiPYMES colombianas, el primer obstáculo no es la latencia de la red, sino la falta de un marco de gobernanza que soporte la legalidad de la operación en la nube. Esta divergencia entre la teoría global y la práctica local justifica plenamente el diseño del marco referencial que une lo propuesto por el CAF, lo establecido en el DDD y el contexto de Colombia que se ha propuesto en este trabajo.

Asimismo, la investigación permite realizar un juicio subjetivo sobre la eficacia de los patrones de diseño arquitectónico. Los resultados obtenidos en los diagnósticos validan la pertinencia de las teorías de Alshuqayran et al. (2025) sobre la recuperación de arquitecturas mediante modelos. Se

constata que la rigidez de los monolitos analizados no es un error de programación aislado, sino una consecuencia de la falta de separación de dominios de negocio. La recurrente recomendación del sistema de utilizar el patrón Strangler Fig para extraer módulos como las bases de datos demuestra que la viabilidad técnica de una MiPYME aumenta proporcionalmente a su capacidad de aplicar el diseño orientado al dominio (DDD). No obstante, es posible advertir que, sin una intervención asistida como la que proporciona este MVP, la mayoría de estas empresas seguirían intentando realizar migraciones de tipo Lift-and-Shift, las cuales, según se desprende de la interpretación de los resultados de IAngel SAS, no resolverían los problemas de degradación de rendimiento bajo carga, ya que el acoplamiento de la lógica persistiría incluso en una infraestructura virtualizada.

Desde una perspectiva de inteligencia artificial industrial, el desempeño del agente de Amazon Quick valida las perspectivas de Peres et al. (2020) sobre la necesidad de herramientas de diagnóstico simplificadas. Estos datos evidencian que el uso de arquitecturas RAG (Generación Aumentada por Recuperación) permite democratizar la consultoría de alta ingeniería, convirtiendo marcos de trabajo densos como el AWS CAF en hojas de ruta accionables y comprensibles para un gerente de una MiPYME de confección o comercio. Se constata que la motivación reportada por los participantes del piloto para buscar nuevas aplicaciones de nube tras recibir el diagnóstico es el resultado directo de haber sustituido la incertidumbre técnica por una narrativa de crecimiento clara. Esto sugiere que el sistema de diagnóstico cumple una función psicológica y estratégica vital: rompe la parálisis por análisis que suele detener los proyectos de transformación digital en las pequeñas organizaciones.

Desarrollo de un sistema de diagnóstico para evaluar la viabilidad de migración de arquitecturas monolíticas hacia microservicios en la nube: Caso MiPYMES del sector E-commerce en Colombia.	4 5
---	--------

Finalmente, la investigación permite concluir que la hipótesis planteada ha sido validada mediante la práctica. Los resultados demuestran que es posible determinar con veracidad la viabilidad de migración si se cuenta con un sistema que no solo mida el "qué" (el estado actual), sino que comprenda el "cómo" (el roadmap). La consistencia de las respuestas del sistema con la realidad de las empresas evaluadas confirma que el motor de inferencia diseñado posee la sensibilidad necesaria para detectar riesgos que los métodos de evaluación tradicionales omiten o se demoran en entregar. A partir de ello, se afirma que el futuro de la competitividad de las MiPYMES de E-commerce en Colombia no depende de la adopción ciega de microservicios, sino de un proceso de transición ordenado, legalmente responsable y arquitecturalmente consciente, donde herramientas de diagnóstico como la propuesta en esta tesis actúen como la brújula fundamental hacia la madurez digital.

Plan de divulgación

El plan de divulgación de la presente investigación se concibe como un proceso estructurado de transferencia de conocimiento que busca ir más allá del repositorio institucional para impactar de manera directa en el ecosistema digital y empresarial de Colombia. La proyección de los resultados se fundamenta en la premisa de que un sistema de diagnóstico asistido por inteligencia artificial solo alcanza su máximo valor cuando es adoptado por los tomadores de decisiones que lideran la transformación de las MiPYMES. Por consiguiente, la estrategia de comunicación se centrará en dos escenarios principales: el académico-científico, para validar la rigurosidad técnica del motor de inferencia desarrollado, y el empresarial-social, para materializar el aporte del sistema como una

herramienta de consultoría accesible que reduzca la brecha de productividad en el sector del comercio electrónico.

Como producto principal de divulgación científica, se ha definido la preparación y sometimiento de un artículo de investigación original dirigido a una revista indexada en Scopus o Web of Science (WOS), preferiblemente vinculada a las áreas de ingeniería de software o sistemas de soporte a la decisión, como Information and Software Technology o IEEE Access. La elección de este canal se justifica por la naturaleza innovadora de la arquitectura propuesta, la cual integra el paradigma RAG (Generación Aumentada por Recuperación) con marcos de trabajo de adopción de nube. Este artículo permitirá someter al juicio de pares la metodología de ponderación del Índice de Madurez y la eficacia del uso de Amazon Quick Agents en la automatización de diagnósticos técnicos, posicionando la investigación como un referente académico en la intersección entre la IA generativa y la arquitectura de microservicios.

De manera complementaria, y atendiendo a la proyección empresarial del proyecto, se estructurará una propuesta para el programa Impacta de la Universidad Ean. Este producto busca convertir el MVP en una solución de emprendimiento de base tecnológica (EBT) o una herramienta de transferencia para el fortalecimiento de las MiPYMES. La justificación de este canal reside en la necesidad de dotar a las pequeñas empresas de una "brújula técnica" que no dependa de altos presupuestos de consultoría. Para materializar este objetivo, las acciones necesarias incluyen la adaptación de las evidencias técnicas obtenidas en los casos de Glow Scrubs e IAngel SAS hacia un modelo de negocio de tipo Software as a Service (SaaS). Esto implica la construcción de una propuesta de valor centrada en la reducción de la incertidumbre operativa y el cumplimiento legal

(Ley 1581), además de la preparación de un pitch técnico que demuestre cómo el sistema transforma datos cualitativos en hojas de ruta estratégicas de migración.

La operatividad del plan se desarrollará en un cronograma estimado de ocho meses posteriores a la sustentación del trabajo de grado. Durante los primeros dos meses, se llevará a cabo el pulido del manuscrito científico y la consolidación de la documentación técnica del prototipo. Entre el tercer y quinto mes, se gestionará el envío a la revista científica y se iniciará la vinculación con el ecosistema de emprendimiento institucional para la búsqueda de capital semilla o acompañamiento técnico. Los últimos meses se dedicarán a la socialización de los resultados en escenarios gremiales, identificando como aliados estratégicos a la Asociación Colombiana de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (ACOPI) y la ANDI, cuya participación es vital para la difusión masiva del instrumento de diagnóstico entre los empresarios del sector E-commerce en el país.

Para la ejecución exitosa de esta ruta, se requerirá del acompañamiento de la Facultad de Ingeniería y el sistema de bibliotecas de la Universidad Ean para la gestión de las APC (Article Processing Charges) y la revisión de estilo del manuscrito. Asimismo, se contempla el uso de recursos tecnológicos basados en créditos de AWS para mantener la operatividad del MVP durante las fases de demostración ante posibles aliados. Los resultados esperados de este plan se traducen en una alta visibilidad institucional y personal, el posicionamiento de la universidad como líder en la aplicación de IA generativa para la productividad empresarial y, fundamentalmente, la transferencia de un activo intelectual que proporcione a las MiPYMES colombianas una ruta verídica y segura hacia la modernización arquitectónica en la nube. En síntesis, la divulgación se proyecta como el eslabón final que conecta la investigación de pregrado con la realidad del

mercado, garantizando que el "para qué" del objetivo general se cumpla a través del fortalecimiento del tejido empresarial nacional.

Conclusiones

El cierre de esta investigación permite concluir que la viabilidad de migración de arquitecturas monolíticas hacia microservicios en las MiPYMES colombianas no es un desafío puramente técnico, sino un proceso multidimensional que requiere una evaluación holística entre la infraestructura tecnológica actual, la gobernanza legal y la madurez de la cultura empresarial. Al sintetizar los hallazgos obtenidos mediante el sistema de diagnóstico, se evidencia que la problemática inicial de desconocimiento técnico puede ser mitigada eficazmente a través de herramientas de soporte a la decisión (DSS) que traduzcan marcos de referencia globales a la realidad operativa de Colombia. La respuesta al problema planteado se ve reflejada en la capacidad del prototipo desarrollado para transformar los datos dispersos y la incertidumbre en una hoja de ruta estratégica, demostrando que el uso de inteligencia artificial generativa, específicamente mediante la arquitectura RAG en Amazon Quick, proporciona una precisión diagnóstica que es superior a los métodos de evaluación tradicionales basados únicamente en cuestionarios estáticos.

En relación con el primer objetivo específico de caracterizar las variables de madurez, el estudio permite concluir que la integración de los pilares del AWS Cloud Adoption Framework (CAF) con los principios del Domain-Driven Design (DDD) constituye el marco evaluativo más robusto para el sector del E-commerce. Los datos obtenidos en las pruebas piloto revelan que la dimensión de Gobernanza, y específicamente el cumplimiento de la Ley 1581 de 2012, actúa como el factor de

éxito crítico que las organizaciones suelen omitir. Esta conclusión se sustenta en el hallazgo de un 0% de madurez legal en casos como Glow Scrubs, lo que confirma que la caracterización de variables no solo debe enfocarse en la eficiencia del código, sino en la sostenibilidad institucional y legislativa del proyecto tecnológico en el territorio colombiano.

Respecto al diseño y desarrollo del sistema de diagnóstico, se concluye que la implementación de un motor de inferencia asistido por Amazon Quick Agents valida la eficacia de los sistemas expertos modernos en la consultoría técnica de bajo costo. La investigación demuestra que es posible modelar un algoritmo de ponderación que asigne pesos estratégicos a variables cualitativas para generar resultados cuantitativos verídicos, como la diferencia de treinta y nueve puntos porcentuales de madurez observado entre los casos de estudio. Este hallazgo responde al segundo y tercer objetivo específico, evidenciando que el prototipo no solo cumple con la función de medir, sino que actúa como un agente motivador para la modernización organizacional al presentar un "paso a paso" coherente con la realidad financiera y operativa de las MiPYMES.

Consecuentemente, los resultados obtenidos tienden a validar la hipótesis de investigación de manera positiva. Se ha comprobado que un sistema de diagnóstico fundamentado en un modelo de soporte a la decisión permite determinar con veracidad la viabilidad de migración, reduciendo la brecha de conocimiento identificada por autores como Bernal-Díaz et al. (2025). Al interpretar estos resultados en el contexto de la literatura existente, se constata que mientras autores como Hossain et al. (2023) enfatizan la optimización técnica, esta investigación aporta una capa de "humanización tecnológica" necesaria para que la pequeña empresa no solo migre, sino que evolucione hacia una cultura cloud-native. No obstante, el estudio presenta limitaciones

importantes que deben ser consideradas, tales como la dependencia de la infraestructura específica de AWS para la operación del MVP y el tamaño de la muestra piloto, que aunque representativa, no permite generalizar los hallazgos a sectores fuera del E-commerce sin un ajuste previo del marco referencial.

Finalmente, a partir de esta investigación se derivan oportunidades significativas de escalabilidad y mejora. Se recomienda para futuros trabajos la integración de bases de conocimiento más amplias que puedan complementar las bases de conocimiento actuales del modelo, generando que este pueda diagnosticar de manera precisa a distintos contextos empresariales. Asimismo, existe la oportunidad de expandir el sistema para incluir estimaciones de costos en tiempo real y comparativas de retorno de inversión (ROI), fortaleciendo así la utilidad del DSS para los niveles directivos. En conclusión, este trabajo de grado no solo entrega una solución técnica funcional, sino que establece un precedente sobre cómo la ingeniería de sistemas puede empoderar al tejido empresarial colombiano mediante la aplicación responsable y estratégica de la inteligencia artificial y los servicios de nube.

Referencias bibliográficas

Alshuqayran, N., Ali, N., & Evans, R. (2025). A model-driven architecture approach for recovering microservice architectures: Defining and evaluating MiSAR. *Information and Software Technology*, 186, 107808. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2025.107808>

Amazon Web Services. (s. f.-a). An overview of the AWS Cloud Adoption Framework. Recuperado el 1 de abril de 2024, de <https://aws.amazon.com/es/cloud-adoption-framework/>

Amazon Web Services. (s. f.-b). Informática sin servidor en AWS. Recuperado el 7 de abril de 2024, de <https://aws.amazon.com/es/serverless/>

Asociación Colombiana de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas [ACOPI]. (2025, junio). ACOPI Mi Pyme más productiva: Resultados de la Encuesta de Desempeño Empresarial del tercer Trimestre de 2025. Observatorio Nacional de la MiPyme. https://acopiatlantico.com/wp-content/uploads/2025/12/ENCUESTA_DE_DESEMPENO_EMPRESARIAL_2025-3.pdf

Asociación Nacional de Empresarios de Colombia [ANDI]. (2024). Transformación digital en Colombia. <https://www.andi.com.co/Home/Noticia/17354-transformacion-digital-en-colombia>

Desarrollo de un sistema de diagnóstico para evaluar la viabilidad de migración de arquitecturas monolíticas hacia microservicios en la nube: Caso MiPYMES del sector E-commerce en Colombia. **5**
2

Bernal-Díaz, I. V., Jiménez-Orozco, H. L., & Alvarez-Araque, W. O. (2025). Factores que influyen en la adopción de tecnologías 4.0 en pymes manufactureras en Duitama, Boyacá.

Cuadernos de Administración, 38. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cao38.fiatpm>

Congreso de la República de Colombia. (2004, 2 de agosto). Ley 905 de 2004. Por la cual se modifica la Ley 590 de 2000 sobre promoción del desarrollo de la micro, pequeña y mediana empresa colombiana y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial No. 45.628.

<https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Leyes/1670219>

Congreso de la República de Colombia. (2012, 17 de octubre). Ley 1581 de 2012. Por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales. Diario Oficial No.

48.587. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=49981>

Consejo Nacional de Política Económica y Social [CONPES]. (2020, 30 de noviembre). Política Nacional de Comercio Electrónico (Documento CONPES 4012). Departamento Nacional de Planeación.

<https://drive.google.com/file/d/18RIrhGaw4VoIHusWV96mrPOnWjJHvRsM/view>

Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales [DIAN]. (2025, 15 de diciembre). Resolución 000238 de 15-12-2025.

<https://www.dian.gov.co/normatividad/Normatividad/Resolución%20000238%20de%2015-12-2025.Pdf>

Hossain, M. D., Sultana, T., Akhter, S., Hossain, M. I., Thu, N. T., Huynh, L. N. T., Lee, G. W., & Huh, E. N. (2023). The role of microservice approach in edge computing: Opportunities, challenges, and research directions. *ICT Express*, 9(6), 1162-1182.

<https://doi.org/10.1016/j.ict.2023.06.006>

International Organization for Standardization. (2011). *Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and software quality models (ISO/IEC 25010:2011)*. <https://www.iso.org/standard/44522.html>

International Software Testing Qualifications Board. (2023). *Certified tester foundation level syllabus (Version 4.0)*. <https://www.istqb.org/certifications/certified-tester-foundation-level>

Kumar, R., Singh, P., & Sharma, V. (2025). *Expert systems and inference engines in decision-making*. *Socio-Economic Planning Sciences*.
<https://doi.org/10.1016/j.seps.2025.002332>

Li, X., Wang, J., & Zhao, Q. (2025). *Migrating monolithic systems to microservices using domain-driven design*. *Information and Software Technology*.
<https://doi.org/10.1016/j.infsof.2025.00059X>

Desarrollo de un sistema de diagnóstico para evaluar la viabilidad de migración de arquitecturas monolíticas hacia microservicios en la nube: Caso MiPYMES del sector E-commerce en Colombia.

5
4

Mell, P., & Grance, T. (2011). The NIST Definition of Cloud Computing (Special Publication 800-145). National Institute of Standards and Technology.

<https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-145.pdf>

Microsoft. (2024). Domain-driven design and microservices architecture. Microsoft Learn.

<https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/architecture/microservices/microservice-ddd-cqrs-patterns/>

Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2019, 5 de junio). Decreto 957 de 2019. Por el cual se reglamentan los criterios de clasificación de las micro, pequeñas y medianas empresas.

Diario Oficial No. 50.975.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=94550>

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones [MinTIC]. (2023). Cerca de 237 entidades territoriales fortalecen su transformación digital. Sala de Prensa.

<https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/Sala-de-prensa/Noticias/428780:Cerca-de-237-entidades-territoriales-fortalecen-su-transformacion-digital>

Naik, K., & Tripathy, P. (2018). Software Testing and Quality Assurance: Theory and Practice. Wiley.

OECD. (2019). Unpacking E-commerce: Business Models, Trends and Policies. OECD Publishing.

<https://doi.org/10.1787/23561431-en>

Desarrollo de un sistema de diagnóstico para evaluar la viabilidad de migración de arquitecturas monolíticas hacia microservicios en la nube: Caso MiPYMES del sector E-commerce en Colombia.

5
5

Peres, R., Jia, X., Lee, J., Sun, K., Colombo, A., & Barata, J. (2020). Inteligencia artificial industrial en la Industria 4.0: revisión sistemática, desafíos y perspectivas. *IEEE Access*, 8, 220121-220139. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3042874>

Singh, A., Patel, D., & Mehta, R. (2025). Multi-criteria decision-making models and applications. *Expert Systems with Applications*. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2025.020792>

Wang, Y., Liu, Z., & Chen, M. (2025). Decision support systems and evaluation models for complex environments. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2025.014265>