

Identificación De Tecnologías Asistidas Por Blockchain Para El Soporte De La Gestión
Administrativa Y Financiera En Organizaciones Pymes

Juan Jose Barragán Carrillo

Tania Andrea Miranda Acevedo

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniería Industrial

Director

Luis Eduardo Becerra Ardila

Magíster En Administración.

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicomecánicas

Escuela de Estudios Industriales y Empresariales

Ingeniería Industrial

Bucaramanga

2026

Tabla de Contenido

Introducción	12
1. Planteamiento del problema.....	14
2. Objetivos	17
2.1. Objetivo General	17
2.2. Objetivos Específicos.....	17
3. Justificación	18
4. Metodología	21
4.1. Diseño de la Investigación	21
4.2. Técnicas de Recolección y Análisis.....	22
4.3. Delimitación del Estudio.....	23
5. Marco Teórico.....	24
6. Metodología de Revisión de Literatura.....	28
6.1. Aproximación Metodológica: Análisis Documental del Contexto Normativo	30
7. Resultados	31
7.1. Fase 1: Revisión de literatura del contexto y caracterización del problema.....	31
7.1.1. Presentación de la revisión bibliográfica.	31
7.1.2. Síntesis de resultados de la Fase 1.	40
7.2. Fase 2: Análisis del contexto tecnológico.....	41
7.2.1. Clarificación metodológica y fuentes de datos	41
7.2.2. Madurez Digital	42
7.2.3. Diagnóstico del estado de madurez digital	43
7.2.4. Brecha entre la técnica actual de las PYMES colombianas y los requerimientos funcionales.	44

7.3. Fase 3: Análisis del contexto tecnológico.....	49
7.4. Fase 4: Diseño de la guía práctica de adopción	59
7.4.1. Arquitecto de Integración (Middleware)	59
7.4.2. Gestor de Identidad y Activos Digitales	60
7.4.3. Analista de Procesos y Auditoría Tecnológica	60
7.4.3.1. KPI 1: Tasa de Certificación del Equipo Núcleo.....	63
7.4.3.2. KPI 2: Autonomía en Integración (Reducción de Dependencia).....	63
7.4.3.3. KPI 3: Adopción y Uso Seguro	63
7.4.3.4. KPI 4: Impacto en Auditoría.....	64
7.5. Síntesis de hallazgos y valor para la toma de decisiones gerenciales.....	64
8. Síntesis de resultados para dar respuesta a la pregunta de investigación	65
8.1. Respuesta a la Pregunta de Investigación	65
9. Discusión.....	69
Conclusiones.....	71
Recomendaciones	73
Referencias Bibliográficas	75

Lista de Tablas

	Pag.
Tabla 1 Fases de la Investigación	23
Tabla 2 Registros obtenidos por base de datos	32
Tabla 3 Criterios de exclusión	32
Tabla 4 Revisión de contenido.....	32
Tabla 5 Categorización	33
Tabla 6 Fuente de documento	33
Tabla 7 Listado sistemático	35
Tabla 8 Análisis normativo de Colombia	38
Tabla 9 Matriz Reto-oportunidad.....	39
Tabla 10 Parámetros de medición del índice de madures digital (IMD)	45
Tabla 11 Análisis de evaluación de arquitecturas en comparación con las capacidades PYMES. 47	
Tabla 12 Origen de Indicadores.....	50
Tabla 13 Resultados de la evaluación en base a la tabla Tabla 10 (Parámetros de medición del índice de madures digital (IMD))	53
Tabla 14 <i>Comparación de plataformas Blockchain</i>	54
Tabla 15 <i>Análisis de Costos de Implementación (CAPEX y OPEX):</i>	57
Tabla 16 Roles clave para la adopción de tecnologías blockchain en pequeñas y medianas empresas colombianas	60
Tabla 17 Presupuesto estimado del plan de formación en blockchain para un equipo piloto en PYMES	62
Tabla 18 Síntesis por componentes y fases metodológicas de la respuesta a la pregunta de investigación	66

Lista de Figuras

	Pag.
Figura 1 Diagrama de flujo	33

Lista de Apéndices

Apéndice A. Artículo de Investigación.

Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS.

Glosario

Automatización: Aplicación de tecnologías o herramientas para ejecutar tareas o procesos de forma automática, reduciendo la intervención humana y aumentando la eficiencia (Kanaparthi, 2024).

Banca digital: Sector financiero que incorpora tecnologías emergentes, como blockchain, para ofrecer servicios bancarios innovadores y automatizados (Financial News London, 2024).

Blockchain: Tecnología basada en registros descentralizados, distribuidos e inmutables, que permite almacenar y transferir información de manera segura y transparente sin la necesidad de intermediarios (IBM, s.f.; Nakamoto, 2008).

Ciberseguridad: Prácticas y tecnologías destinadas a proteger la información y los sistemas frente a ataques, fraudes, manipulación o acceso no autorizado (Rashid et al., 2022; IBM, s.f.).

Contratos inteligentes: Programas informáticos que se ejecutan automáticamente sobre una blockchain, cumpliendo acuerdos predefinidos entre partes y automatizando procesos sin intermediación humana (Buterin, 2014; IBM, s.f.).

Costos operativos: Gastos asociados a la gestión diaria de una organización, incluyendo los recursos invertidos en la administración, tecnología y mantenimiento de sistemas (Deloitte, 2018).

Criptomoneda: Activo digital basado en la tecnología blockchain, que funciona como medio de intercambio y unidad de cuenta, siendo usado en transacciones descentralizadas (Nakamoto, 2008; IBM, s.f.).

Descentralización: Propiedad de los sistemas blockchain en los que la gestión y el almacenamiento de la información no dependen de una única entidad central, sino de una red distribuida de nodos (IBM, s.f.; Casino et al., 2019).

Digitalización: Transformación de procesos, documentos y servicios físicos o manuales en formatos digitales, facilitando la automatización y el acceso mediante tecnologías informáticas (Sánchez, 2023; Kanaparthi, 2024).

Gestión administrativa: Conjunto de procesos y actividades orientados a la planificación, organización y control de los recursos de una entidad, optimizando su funcionamiento interno (Sánchez, 2023).

Gestión financiera: Área que se encarga de la administración de los recursos económicos en una organización, incluyendo la planificación, ejecución y control de operaciones monetarias (Sánchez, 2023).

Inmutabilidad: Característica de la blockchain que garantiza que los registros almacenados no pueden ser alterados ni eliminados, aumentando la confianza y la seguridad de la información (IBM, s.f.; Nakamoto, 2008).

Interoperabilidad: Capacidad de diferentes sistemas o plataformas, incluidas las basadas en blockchain, para intercambiar información y funcionar de manera coordinada y eficiente (Xu et al., 2016).

Regulación: Conjunto de leyes y normas que establecen el marco legal para la implementación y uso de tecnologías como blockchain dentro de diferentes sectores (MinTIC, 2019; Deloitte, 2018).

Sostenibilidad organizacional: Capacidad de una organización para mantener y desarrollar su actividad de manera eficiente, ética y respetuosa con el entorno social y ambiental en el tiempo (Azan & Li, 2023).

Stakeholders: Personas o grupos que tienen interés o participación en una organización, influyendo o siendo afectados por sus decisiones, políticas y prácticas (ej. empleados, clientes, inversores) (MinTIC, 2019).

Token: Unidad digital creada en una blockchain que puede representar un activo, derecho o valor y es intercambiable en la red de manera segura (Financial Times, 2024).

Tokenización: Proceso de representar activos físicos o financieros en una blockchain mediante la creación de “tokens” digitales, lo que facilita su manejo, intercambio y trazabilidad (Janus Henderson, 2024; Financial Times, 2024).

Transparencia: Principio según el cual toda la información registrada en una blockchain puede ser revisada por los participantes de la red, lo que reduce riesgos de fraude y corrupción (MinTIC, 2019; Kanaparthi, 2024).

Trazabilidad: Capacidad de rastrear y verificar la secuencia de operaciones, transacciones o movimientos de información dentro de la blockchain, lo que facilita la auditoría y la transparencia (García-Valdecasas Rodríguez de Rivera, 2022; IBM, s.f.).

Viabilidad técnica y económica: Análisis para determinar si la adopción de una tecnología es posible desde el punto de vista tecnológico y financieramente conveniente para una organización (Rashid et al., 2022; Deloitte, 2018).

Resumen

Título: Identificación De Tecnologías Asistidas Por Blockchain Para El Soporte De La Gestión Administrativa Y Financiera En Organizaciones Pymes

Autores: Juan José Barragan, Tania Andrea Miranda.

Palabras Clave: blockchain, PYMES, gestión administrativa, gestión financiera, Colombia, transformación digital.

Descripción: La digitalización de las PYMES colombianas enfrenta retos críticos en la gestión administrativa y financiera, tales como baja transparencia, limitada trazabilidad, sistemas de información fragmentados. La digitalización de las PYMES colombianas enfrenta retos críticos en la gestión administrativa y financiera, como baja transparencia, limitada trazabilidad, sistemas de información fragmentados y alta vulnerabilidad a fraudes. Estas dificultades impactan negativamente la eficiencia operativa, incrementan los costos de supervisión y reducen la confianza de clientes, proveedores y entidades financieras. Además, la falta de integración tecnológica limita la toma de decisiones basada en datos confiables y oportunos, afectando la competitividad en mercados nacionales e internacionales. La presente investigación analiza la viabilidad técnica y económica de la adopción de tecnologías blockchain para fortalecer y optimizar los procesos administrativos y financieros en las PYMES colombianas. El estudio se desarrolla mediante una revisión sistemática de literatura bajo el protocolo PRISMA, complementada con un análisis del contexto tecnológico y regulatorio colombiano a partir de fuentes secundarias como CINTEL y MinTIC. Esta metodología permite identificar los principales retos, oportunidades y factores habilitadores para la implementación de blockchain, tales como la madurez digital, la preparación organizacional y las condiciones normativas e infraestructurales. Proponiendo soluciones de implementación acordes al contexto colombiano. ¹

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas Escuela de Estudios Industriales y Empresariales Ingeniería Industrial.
Director: Luis Eduardo Becerra Ardila PhD en Ingeniería, Área Gestión y Desarrollo Tecnológico.

Abstract

Title: Identification of Blockchain-Assisted Technologies for Supporting Administrative and Financial Management in PYMES Organizations

Author: Juan José Barragán, Tania Andrea Miranda.

Key Words: blockchain, PYMES, administrative management, financial management, Colombia, digital transformation

Description: The digitalization of Colombian SMEs faces significant challenges in administrative and financial management, including limited transparency, insufficient traceability, fragmented information systems, and vulnerability to fraud. These limitations reduce operational efficiency and affect institutional trust and competitiveness in both national and international markets. This study analyzes the feasibility of adopting blockchain technologies to support to improve administrative and financial processes in Colombian SMEs. The research is based on a systematic literature review conducted under the PRISMA protocol, complemented by an analysis of the Colombian technological and regulatory context using secondary sources such as CINTEL and MinTIC. The study can identifies the main challenges, opportunities, and enabling factors associated with blockchain adoption, including digital maturity, organizational readiness, regulatory conditions, and infrastructure constraints. Based on these findings, a practical guide for gradual and structured implementation is proposed to support decision-making and reduce adoption risks. The results suggest that blockchain can strengthen automation, improve data security, increase transparency, and enhance cost efficiency in Colombian SMEs. However, its implementation still faces barriers related to specialized talent, infrastructure investment, and evolving regulatory frameworks, although it remains a viable strategy to promote long-term competitiveness and sustainable digital transformation in emerging economies, proposing implementation solutions aligned with the Colombian context.²

*Degree Work

** Faculty of Physical and Mechanical Engineering School of Industrial and Business Studies Industrial Engineering.
Director: Luis Eduardo Becerra Ardila PhD in Engineering, Management and Technological Development Area.

Introducción

En el entorno empresarial actual, la transformación digital entendida como la integración sistemática de tecnologías digitales en todas las áreas operativas de una organización para modificar fundamentalmente su forma de crear y entregar valor (Vial, 2019; Verhoef et al., 2021)— representa una necesidad estratégica para las pequeñas y medianas empresas (PYMES) que buscan mantenerse competitivas. Esta necesidad se fundamenta en evidencia empírica: según el Foro Económico Mundial (2020), las empresas que no adoptan tecnologías digitales experimentan una reducción del 23% en competitividad, mientras que en Colombia, las PYMES digitalizadas presentan un 40% más de productividad según MinTIC (2021). Dentro de este contexto, la gestión administrativa y financiera cumple un papel crucial, ya que su eficiencia incide directamente en la toma de decisiones, la rentabilidad y la sostenibilidad organizacional.

Ante este panorama, resulta necesario considerar la adopción de tecnologías emergentes que contribuyan a mejorar la trazabilidad, integridad y seguridad de los procesos administrativos y financieros en este segmento empresarial. Una de las tecnologías más prometedoras en este campo es blockchain. Esta tecnología, basada en registros descentralizados, inmutables y distribuidos, ha demostrado su capacidad para transformar la forma en que se gestionan las transacciones y los flujos de información dentro de las organizaciones. Gracias a su arquitectura, blockchain permite eliminar intermediarios innecesarios, automatizar procesos mediante contratos inteligentes y garantizar la veracidad de los datos, reduciendo el margen de error y los costos operativos.

Diversos estudios académicos respaldan el potencial de esta tecnología en contextos organizacionales. La automatización de procedimientos administrativos a través de blockchain

permite asegurar altos niveles de transparencia, especialmente en la gestión de registros y validación documental, sin necesidad de intervención de terceros. En el área financiera, la implementación de blockchain permite reducir significativamente el riesgo de fraude y errores contables, al permitir un control automático y en tiempo real de las transacciones mediante contratos inteligentes. La sinergia entre blockchain, la inteligencia artificial y el aprendizaje automático puede revolucionar la eficiencia de los procesos contables y financieros, proporcionando información precisa y actualizada para una mejor toma de decisiones estratégicas.

En el caso colombiano, el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones ha reconocido el potencial de esta tecnología como instrumento para fortalecer la confianza ciudadana, optimizar los procesos institucionales y promover una administración más abierta, transparente y eficiente. Lo anterior no solo valida su aplicabilidad en el sector privado, sino que también evidencia su importancia en el ámbito público, donde las necesidades de control, fiscalización y eficiencia son aún más críticas.

Las PYMES colombianas, que representan el 99% del tejido empresarial del país y generan más del 67% del empleo nacional, enfrentan retos particulares en su proceso de transformación digital. Estas organizaciones operan con recursos limitados, infraestructura tecnológica básica y acceso restringido a talento especializado. Sin embargo, son precisamente estas empresas las que podrían beneficiarse significativamente de la implementación de tecnologías blockchain, al permitirles competir en igualdad de condiciones con organizaciones más grandes mediante la automatización de procesos, la reducción de costos operativos y el mejoramiento de la transparencia en sus operaciones.

Frente a este panorama, la presente investigación se plantea como una respuesta a la necesidad de identificar y analizar modelos de aplicación de tecnologías blockchain en la gestión administrativa y financiera de PYMES colombianas, con el propósito de evaluar su impacto, beneficios y viabilidad dentro de este contexto organizacional específico. A partir de este análisis, se diseñarán estrategias de implementación adaptadas a las características y limitaciones particulares de las pequeñas y medianas empresas en Colombia.

1. Planteamiento del problema

En el contexto actual de transformación digital, las PYMES colombianas enfrentan el desafío crítico de mejorar la eficiencia, transparencia y seguridad en sus procesos administrativos y financieros. Según el diagnóstico realizado por CINTEL (2023) en su Índice de Madurez Digital, el 88% de las PYMES colombianas operan con sistemas tradicionales on-premise sin integración entre departamentos, caracterizados por su vulnerabilidad a errores humanos, fraudes y falta de trazabilidad informacional. El estudio de Pérez y Vargas (2022) sobre adopción tecnológica en PYMES bogotanas identificó que el 68% de estas organizaciones reportan desconocimiento técnico sobre herramientas digitales avanzadas, el 54% señalan los altos costos como barrera principal, y el 47% indican falta de capacitación del personal. Esta problemática genera consecuencias concretas y medibles: la Cámara de Comercio de Bogotá (2023) reporta que las PYMES con sistemas tradicionales experimentan un 35% más de tiempo en procesos de auditoría, un 42% más de errores en conciliaciones contables, y una reducción del 28% en su capacidad de acceso a financiamiento formal comparadas con empresas digitalizadas. Estas deficiencias afectan directamente la competitividad empresarial del segmento que representa el 99% del tejido empresarial colombiano y genera más del 67% del empleo nacional (DANE, 2023).

Para los clientes, la falta de transparencia se traduce en desconfianza organizacional. Para los proveedores, la ausencia de sistemas automatizados genera retrasos de pago que deterioran relaciones comerciales. Para los inversionistas, la vulnerabilidad a fraudes representa sobrecostos y reducción en valuaciones empresariales. Para reguladores, la falta de trazabilidad completa dificulta el cumplimiento normativo, generando sanciones potenciales.

Aunque la tecnología blockchain ofrece soluciones innovadoras mediante su estructura descentralizada, registros inmutables y contratos inteligentes que permiten automatizar tareas, garantizar integridad de datos y eliminar intermediarios, su adopción en PYMES colombianas permanece limitada por falta de conocimiento especializado, ausencia de políticas regulatorias claras, altos costos de implementación y barreras culturales al cambio.

La revisión de literatura evidencia un vacío académico significativo, ya que las investigaciones actuales se concentran en grandes corporaciones, criptomonedas y banca, dejando inexploradas aplicaciones críticas específicas para PYMES en gestión de tesorería corporativa, auditoría interna en tiempo real, interoperabilidad con sistemas legacy de bajo costo, procurement interno y compliance automatizado.

Las consecuencias de no atender este problema incluyen pérdida acelerada de competitividad, mayor vulnerabilidad a fraudes financieros, rezago en transformación digital, incremento de costos operacionales y dificultades para atraer talento especializado. Por tanto, surge la pregunta de investigación:

¿Cómo puede la tecnología blockchain contribuir a la mejora de la gestión administrativa y financiera en PYMES colombianas, y cuáles son los factores críticos para su implementación exitosa considerando las características y limitaciones específicas de este segmento empresarial?

Esta inquietud representa una oportunidad crítica para proponer soluciones adaptadas a las necesidades urgentes de eficiencia operativa, integridad informacional y toma de decisiones basada en datos verificables en PYMES colombianas, considerando que la ventana de oportunidad para adoptar blockchain como ventaja competitiva se cierra rápidamente mientras competidores internacionales avanzan en su implementación.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Analizar la viabilidad técnica y económica de la aplicación de tecnologías blockchain en los procesos administrativos y financieros de PYMES colombianas, con el fin de proponer estrategias de implementación que mejoren su eficiencia, seguridad y transparencia.

2.2. Objetivos Específicos

1. Identificar los principales retos y oportunidades en la gestión administrativa y financiera de PYMES colombianas que pueden ser optimizados mediante blockchain, a partir de una revisión de literatura científica y análisis del contexto normativo y organizacional del país.
2. Analizar el contexto tecnológico y de madurez digital de las PYMES colombianas, evaluando capacidades técnicas actuales, disponibilidad de recursos, necesidades de capacitación y características organizacionales relevantes para la adopción de blockchain.
3. Evaluar la viabilidad técnica y económica de implementar blockchain en PYMES colombianas, mediante la aplicación de criterios de madurez tecnológica, análisis costo-beneficio y evaluación de factibilidad institucional y regulatoria.
4. Diseñar una guía práctica de adopción de tecnologías blockchain orientada a PYMES colombianas, considerando diferentes niveles de madurez digital, limitaciones de recursos y necesidades específicas del entorno organizacional.

3. Justificación

El Índice de Madurez de Transformación Digital de las empresas colombianas se ubicó en 51.5% para 2023 según CINTEL, indicando que más de la mitad de las organizaciones aún se encuentran en etapas iniciales de digitalización. Esta situación es particularmente crítica en las PYMES, que representan el 99% del tejido empresarial colombiano y generan más del 67% del empleo nacional, pero operan con recursos limitados y enfrentan barreras significativas para la adopción tecnológica. Los costos de las ineficiencias en gestión administrativa y financiera se manifiestan en pérdidas de productividad, incremento en tiempos de procesamiento de transacciones, duplicación de esfuerzos administrativos y erosión de la confianza de stakeholders. Específicamente en el sector de las PYMES, estas deficiencias limitan su capacidad de crecimiento, acceso a financiamiento y competencia en mercados digitalizados.

A pesar del creciente interés en tecnología blockchain, existe una brecha investigativa significativa en su aplicación a procesos administrativos y financieros de PYMES más allá del ámbito financiero tradicional. Falta investigación sobre implementación de blockchain para garantizar integridad y trazabilidad de documentos administrativos en organizaciones con recursos limitados, así como escasez de estudios sobre cómo la inmutabilidad de blockchain puede transformar procedimientos de auditoría en contextos de PYMES sin departamentos especializados. Existe limitada investigación sobre el uso de contratos inteligentes para automatizar workflows administrativos, procesos de aprobación y gestión de recursos humanos en empresas pequeñas, y hay ausencia de marcos metodológicos para la integración de soluciones blockchain con sistemas de planificación de recursos empresariales de bajo costo utilizados por PYMES. Adicionalmente, falta investigación sobre estrategias de implementación incremental

adaptadas a presupuestos y capacidades técnicas limitadas, evidenciado en que solo 4 estudios en literatura latinoamericana abordan análisis costo-beneficio específico para pequeñas y medianas empresas. Esta brecha representa una oportunidad significativa para contribuir al conocimiento científico y generar soluciones prácticas que respondan a necesidades reales del sector empresarial colombiano.

La implementación estratégica de blockchain en procesos administrativos y financieros generará impactos diferenciados en distintos actores organizacionales. Para las PYMES colombianas, se espera mayor eficiencia operativa mediante automatización, reducción de costos administrativos, mejora en transparencia y trazabilidad, fortalecimiento de la competitividad y acceso facilitado a nuevos mercados y fuentes de financiamiento. Para la alta dirección de PYMES, los beneficios incluyen mayor transparencia en la información para toma de decisiones estratégicas, reducción de riesgos operativos y fortalecimiento de la reputación corporativa a través de sistemas verificables y auditables. Los colaboradores administrativos se beneficiarán de la automatización de tareas repetitivas, eliminación de procesos redundantes, acceso a información confiable en tiempo real y desarrollo de nuevas competencias tecnológicas que incrementen su empleabilidad. Para stakeholders externos, se generará mayor confianza a través de sistemas transparentes y verificables, reducción de tiempos en procesos de auditoría y verificación, y acceso a información corporativa confiable para decisiones de inversión o colaboración. Finalmente, para el ecosistema empresarial colombiano, se espera un fortalecimiento del tejido productivo, reducción de brechas tecnológicas, mejora en la competitividad nacional y contribución al crecimiento económico sostenible.

La investigación se alinea estratégicamente con las políticas públicas nacionales de transformación digital. El Ministerio TIC ha expresado su compromiso con impulsar el uso de tecnologías emergentes, promoviendo blockchain para generar mejores procesos institucionales. Durante 2024, la estrategia Potencia Digital invirtió cerca de \$42.500 millones para acompañar a mil empresas y fortalecer Ecosistemas de Innovación en todo el país. Esta inversión representa una oportunidad para que los resultados de la investigación contribuyan directamente a estos programas de fortalecimiento empresarial. A nivel latinoamericano, la investigación se enmarca en las tendencias regionales hacia la digitalización empresarial y la adopción de tecnologías emergentes como mecanismo de competitividad internacional. Los hallazgos contribuirán al desarrollo de marcos regulatorios y metodológicos que puedan ser replicados en contextos similares de la región.

La pertinencia social del proyecto se fundamenta en su potencial para democratizar el acceso a tecnologías avanzadas, permitiendo que PYMES con recursos limitados puedan implementar soluciones que tradicionalmente han estado disponibles solo para grandes corporaciones. Dado que las PYMES sostienen la economía base colombiana, cualquier avance y beneficio para estas representa un fortalecimiento directo de la capacidad de producción y económica del país, convirtiendo este estudio en un punto crítico de acción para la evaluación de esta tecnología en este grupo del sector económico del país. La presente investigación se justifica en la necesidad de ampliar el campo de conocimiento sobre blockchain aplicado a contextos de PYMES, contribuyendo tanto al desarrollo científico como a la práctica organizacional. Se espera fomentar una adopción estratégica que responda a los desafíos contemporáneos de transparencia, eficiencia y confiabilidad, promoviendo una cultura organizacional basada en la innovación tecnológica responsable y adaptada a las realidades de las pequeñas y medianas empresas

colombianas. Los resultados contribuirán al desarrollo de metodologías, marcos conceptuales y herramientas prácticas que fortalezcan la competitividad del sector empresarial colombiano en la economía digital global, representando una oportunidad para posicionar a Colombia como referente regional en la implementación de soluciones blockchain para PYMES y generando conocimiento transferible que contribuya al desarrollo tecnológico y económico tanto nacional como latinoamericano.

4. Metodología

La presente investigación adopta un enfoque documental con alcance exploratorio y descriptivo, orientado a analizar la viabilidad técnica y económica de la implementación de tecnologías blockchain en los procesos administrativos y financieros de las PYMES colombianas.

4.1. Diseño de la Investigación

El carácter documental y no experimental de esta investigación se justifica por:

- Disponibilidad limitada de estudios empíricos sobre aplicación de blockchain en contextos administrativos no financieros de PYMES
- Naturaleza emergente de la temática que requiere consolidación de conocimiento disperso
- Necesidad de establecer marcos conceptuales sólidos antes de implementaciones empíricas costosas

Se emplea un diseño no experimental y de carácter transversal, basado en el análisis sistemático de fuentes secundarias siguiendo protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses).

4.2. Técnicas de Recolección y Análisis

Revisión de literatura: Se aplicaron criterios rigurosos de inclusión considerando pertinencia temática, actualidad, nivel de impacto académico y relación directa con los objetivos de investigación. Las bases de datos consultadas incluyen Scopus, Web of Science, Google Scholar, ScienceDirect y documentos oficiales de MinTIC.

Ecuación de Búsqueda: Se construyó una ecuación utilizando operadores booleanos (AND, OR, NOT) para combinar términos clave de manera lógica, permitiendo filtrar y obtener resultados precisos:

(blockchain OR "distributed ledger technology") AND ("gestión administrativa" OR "gestión financiera" OR "administrative management" OR "financial management") AND (PYMES OR SMEs OR "pequeñas y medianas empresas" OR "small and medium enterprises") AND (Colombia OR "países emergentes" OR "emerging markets")

Análisis Documental: Se realizará análisis exhaustivo de instrumentos legales y regulatorios colombianos relevantes para implementación blockchain, incluyendo políticas de MinTIC, normativas financieras y regulaciones aplicables a PYMES.

Análisis Comparativo: Se estudiarán casos de implementación internacional y regional, identificando factores críticos de éxito y barreras específicas para contextos de recursos limitados.

4.3. Delimitación del Estudio

El estudio se centra en PYMES colombianas, definidas según clasificación legal vigente (Ley 590/2000 modificada por Ley 905/2004):

- **Pequeñas empresas:** 11-50 empleados, activos 501-5,000 SMMLV
- **Medianas empresas:** 51-200 empleados, activos 5,001-30,000 SMMLV

Se incluyen tanto empresas del sector privado como entidades públicas de tamaño equivalente, con especial atención a aquellas en proceso de transformación digital o interesadas en implementar tecnologías emergentes.

Tabla 1

Fases de la Investigación

Fase	Objetivo Asociado	Descripción	Criterios/Indicadores
Fase 1: Revisión literaria del contexto	Objetivo específico 1	Realizar revisión de literatura científica, técnica y normativa sobre aplicación de blockchain en gestión administrativa y financiera de PYMES, identificando principales retos, oportunidades y vacíos investigativos en contexto colombiano	- Publicaciones 2018-2024 - Fuentes indexadas (Scopus, WoS, MinTIC) - Enfoque en PYMES y América Latina - Categorización de retos y oportunidades
Fase 2: Análisis del contexto tecnológico	Objetivo específico 2	Analizar el estado de madurez digital, infraestructura tecnológica y capacidad de formación de talento humano en PYMES colombianas para adopción de blockchain	- Indicadores de madurez digital - Recursos disponibles (hardware, software, conectividad) - Capacitación técnica y gestión del cambio - Análisis de presupuestos tecnológicos
Fase 3: Evaluación de la	Objetivo específico 3	Evaluar la factibilidad técnica y económica de implementar soluciones blockchain en	- Viabilidad técnica: interoperabilidad, escalabilidad, seguridad.-

viabilidad técnica y económica		PYMES, mediante el análisis comparativo de modelos internacionales y criterios de madurez tecnológica adaptados al entorno nacional.	Viabilidad económica: costo-beneficio, ROI, sostenibilidad financiera.- Factibilidad institucional y regulatoria.
Fase 4: Diseño de la guía práctica de adopción	Objetivo específico 4	Elaborar una guía práctica y contextualizada que oriente a las PYMES en la adopción de tecnologías blockchain, incluyendo fases de implementación, requerimientos técnicos, indicadores de madurez y estrategias de gestión del cambio.	- Estructura modular de la guía.- Validación con expertos (método Delphi).- Aplicación piloto o simulada.- Estrategia de transferencia tecnológica.

5. Marco Teórico

La tecnología blockchain se define como una base de datos distribuida compuesta por bloques cifrados que, al unirse, permiten registrar información de manera segura y sin intermediarios (Nakamoto, 2008). Esta característica fundamental ha facilitado su consolidación como herramienta disruptiva no solo en el ámbito financiero sino también en sectores administrativos, gubernamentales y corporativos. Desde su concepción teórica con los trabajos de Haber y Stornetta en 1991, quienes buscaban preservar la integridad de documentos digitales mediante sellos temporales criptográficos, pasando por el desarrollo del sistema RPoW de Hal Finney en 2004, hasta la consolidación del protocolo Bitcoin por Satoshi Nakamoto en 2008, la evolución del blockchain se articula en distintas etapas tecnológicas. La segunda generación, con Ethereum como referente en la implementación de contratos inteligentes entre 2013 y 2017, amplió la capacidad funcional al automatizar operaciones mediante programación autoejecutable. La tercera generación ha sido marcada por el surgimiento de plataformas como Cardano, Polkadot y Hyperledger Fabric, enfocadas en escalabilidad, sostenibilidad y adaptación organizacional.

La estructura criptográfica de blockchain garantiza que los datos registrados no pueden ser alterados retroactivamente sin detectarse, característica conocida como inmutabilidad. Para PYMES, esto se traduce en reducción de tiempo de auditoría interna en 60-75%, eliminación de documentación duplicada y creación de pistas de auditoría que facilitan cumplimiento normativo. Los contratos inteligentes, programas autoejecutables que disparan acciones cuando se cumplen condiciones predefinidas, representan otra característica fundamental de esta tecnología. La convergencia entre blockchain, inteligencia artificial y aprendizaje automático permite automatización inteligente de flujos administrativos como nóminas, facturación y procesos de aprobación que tradicionalmente requieren intervención humana intensiva. La descentralización que ofrece la tecnología permite desintermediación selectiva, transformando intermediarios hacia roles de mayor valor. Para PYMES esto implica reducción de costos transaccionales en 30-45%, eliminación de tiempos de espera en procesos multiactor y mayor flexibilidad en relaciones comerciales.

El blockchain ha sido estudiado desde diferentes campos de la gestión administrativa y financiera. Casino et al. (2019) realizaron una revisión bibliográfica de más de 200 artículos científicos, encontrando que el 40% de las investigaciones demuestran uso en contextos financieros. Xu et al. (2017) propusieron una taxonomía de arquitecturas blockchain que facilita entender configuraciones técnicas desde redes públicas hasta implementaciones empresariales privadas. Azan y Li (2023) evidenciaron el carácter multidisciplinario de la implementación del blockchain, destacando contribuciones en ingeniería informática, administración y economía. Tandon et al. (2021) identificaron vacíos significativos en aplicación a gestión pública y procesos administrativos no financieros. En el campo financiero, diversos estudios coinciden en que esta tecnología puede ser aplicada más allá del intercambio de criptomonedas. Rashid et al. (2022)

argumentan que blockchain puede integrarse en funciones como la contabilidad, la auditoría y la gestión de activos, aportando mayor precisión y transparencia en la información financiera.

Para comprender la adopción de blockchain en contextos organizacionales, resulta fundamental considerar modelos teóricos consolidados de aceptación tecnológica. El Technology Acceptance Model (TAM), propuesto por Davis (1989), establece que la intención de uso de una tecnología queda determinada por la percepción de utilidad, es decir, en qué medida es beneficiosa para el desempeño del trabajo, y la percepción de facilidad de uso. Este modelo ha sido aplicado en numerosos contextos tecnológicos, siendo particularmente adecuado para estudiar la predisposición del personal administrativo y financiero de PYMES a incorporar blockchain en su actuación habitual. Complementariamente, la teoría de difusión de innovaciones de Rogers (2003) clarifica cómo, por qué y a qué velocidad se difunde la innovación en una población. Rogers identifica cinco características que influyen en la adopción: la ventaja relativa, la compatibilidad, la complejidad, la posibilidad de prueba y la visibilidad de resultados. Para blockchain en PYMES, estas dimensiones permiten diagnosticar posibles resistencias o aceleradores institucionales de adopción tecnológica, sobre todo en entornos con recursos limitados y alta aversión al riesgo.

Las pequeñas y medianas empresas en Colombia enfrentan diversos retos en su proceso de transformación digital, evidenciando carencias de sistemas que garanticen transparencia, eficiencia y seguridad en la gestión financiera y administrativa. La adopción de blockchain representa una opción viable para abordar estas necesidades mediante automatización de procesos a través de contratos inteligentes, mejor trazabilidad en cadena de suministros y fortalecimiento del control interno mediante registros inalterables (Benítez-Arrieta & Cantillo-Velásquez, 2025; Vergel Vergel, 2019). Sin embargo, la adopción tecnológica aún está en etapas tempranas, limitada

por desconocimiento sobre la tecnología, ausencia de marcos regulatorios claros y resistencia a cambiar estructuras organizacionales tradicionales (MinTIC, 2020). Blockchain aporta beneficios clave como seguridad, integridad y eficiencia operativa al eliminar intermediarios y automatizar procesos. En la cadena de suministro, permite visibilidad total y rastreabilidad del flujo de materiales, facilitando coordinación entre proveedores y clientes, aumentando eficiencia operativa y competitividad (Alzate & Giraldo, 2023; Aranda et al., 2024). La eliminación de intermediarios y la automatización de pagos a través de contratos inteligentes generan ahorros de costos y mejoran la relación con proveedores, fortaleciendo la sostenibilidad financiera de las PYMES (Arias-Torres et al., 2023).

Dentro de la realidad nacional colombiana, el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC) ha desarrollado guías para la implementación de blockchain en el sector público, visualizando su aplicación en toda clase de contratación estatal y gestión de registros. Los pilotos desarrollados para el caso de SECOP II, así como las experiencias de Bancolombia y Davivienda, permiten el uso de la tecnología en temas de pagos entre empresas y comercio exterior, entre otros. No obstante, las posibilidades de uso masivo de estas tecnologías enfrentan escenarios estructurales que frenan su implementación, como la inexistencia de una regulación integral, resistencias culturales en la manera de trabajar de las entidades tradicionales, dificultades organizacionales, escasez de talento y limitaciones en la interoperabilidad de plataformas. Para que la implementación del blockchain sea satisfactoria debe atender específicamente tres niveles: el técnico, que incluye infraestructura de nodos, protocolos de consenso e integración con sistemas heredados; el organizativo, que abarca modelos de gobernanza, formación en contratos inteligentes y criptografía, y alianzas público-privadas; y el

legal, relacionado con el marco regulatorio sobre contratos digitales, protección de datos y reconocimiento jurídico de las operaciones en red.

Entre los principales desafíos para la adopción masiva en PYMES están las dificultades técnicas relacionadas con interoperabilidad con sistemas heredados de bajo costo, escalabilidad de soluciones blockchain accesibles y necesidad de adaptación de normativas locales para permitir su implementación sin riesgos legales (MinTIC, 2020). El reto principal consiste en cambiar la infraestructura de funcionamiento de las PYMES y mejorar las bases de datos en Colombia, dado que estos se encuentran atrasados con respecto a otros países. La formación de talento especializado en blockchain y la promoción de una cultura organizacional digital son factores críticos para el éxito de su integración en PYMES colombianas, considerando que estas empresas operan con presupuestos tecnológicos limitados (3-5% de ingresos versus 8-15% en grandes corporaciones). La creciente preocupación por la competitividad empresarial y la presión por innovar hacen que implementar blockchain sea una ventana de oportunidad estratégica, donde quienes lideren la transformación tecnológica pueden consolidar una ventaja competitiva decisiva a nivel local e internacional (Procolombia, 2025; La Nota Económica, 2025).

6. Metodología de Revisión de Literatura

La revisión de literatura es un método de investigación secundaria que permite identificar, evaluar y sintetizar de manera rigurosa y replicable toda la evidencia disponible sobre una pregunta de investigación específica (Kitchenham & Charters, 2007). A diferencia de una revisión narrativa tradicional, la RSL sigue un protocolo estructurado que minimiza el sesgo del investigador mediante criterios explícitos de inclusión y exclusión (Tranfield et al., 2003).

En el contexto de esta investigación, se adopta el protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) desarrollado por Page et al. (2021), que establece cuatro fases fundamentales: Identificación de estudios mediante búsqueda sistemática en bases de datos; Cribado mediante criterios de exclusión predefinidos; Evaluación de elegibilidad a texto completo; y Inclusión de estudios que cumplan todos los criterios de calidad.

Dado el carácter emergente de la tecnología blockchain y su aplicación en PYMES, se justifica la delimitación temporal (2018-2024) para capturar únicamente literatura representativa del estado actual de la tecnología, excluyendo trabajos anteriores a Ethereum 2.0 y arquitecturas de segunda generación que ya han sido superadas tecnológicamente (Zheng et al., 2018). Esta ventana temporal garantiza que los hallazgos sean aplicables al contexto tecnológico vigente y no incluyan arquitecturas obsoletas o experimentales descontinuadas.

Se precisó la delimitación del alcance del estudio en organizaciones PYMES, reconociendo que, aunque la literatura sobre tecnología blockchain es amplia, los trabajos que abordan su aplicación específica en PYMES y, particularmente, en el contexto latinoamericano, son considerablemente más limitados. En este sentido, la revisión se orienta a capturar evidencia relevante y contextualizada que responda a las particularidades estructurales, tecnológicas y organizacionales de este tipo de organizaciones, priorizando un enfoque analítico situado frente a aproximaciones de carácter generalista.

En consecuencia, el tamaño final de la muestra (15 artículos) responde a la especificidad de la pregunta de investigación y la escasez de estudios empíricos en el contexto latinoamericano. Como señalan Petersen et al. (2015), en campos emergentes de investigación, una RSL puede justificadamente trabajar con corpus reducidos cuando se enfoca en contextos geográficos o

sectoriales específicos (PYMES colombianas/latinoamericanas), priorizando la profundidad y relevancia contextual sobre el volumen absoluto de estudios.

6.1.Aproximación Metodológica: Análisis Documental del Contexto Normativo

Complementando la revisión de literatura, esta investigación emplea el análisis documental como método para examinar el contexto normativo y organizacional colombiano. Según Bowen (2009), el análisis documental es un procedimiento sistemático para revisar y evaluar documentos impresos y electrónicos, que permite extraer significado, desarrollar comprensión empírica y generar conocimiento a partir de fuentes secundarias oficiales.

En el contexto de esta investigación, el análisis del contexto normativo y organizacional implica el examen crítico de: instrumentos legales vigentes (leyes, decretos, resoluciones); políticas públicas y estrategias gubernamentales (planes de desarrollo digital, iniciativas de fomento); regulaciones sectoriales específicas (normativa financiera, tributaria); y documentos técnicos institucionales (guías de implementación, estándares técnicos) (Prior, 2003).

Este análisis se estructura siguiendo las categorías propuestas por Scott (1990): autenticidad del documento, credibilidad de la fuente, representatividad respecto al fenómeno estudiado, y significado para la pregunta de investigación. Para el caso colombiano, se priorizan documentos emitidos por entidades oficiales con competencia técnica reconocida: Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC), Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales (DIAN), Superintendencia Financiera, y centros de investigación sectorial como CINTEL.

La triangulación entre la revisión de literatura académica y el análisis documental del contexto institucional permite construir un diagnóstico integral que vincula los hallazgos teóricos con las condiciones regulatorias, técnicas y organizacionales específicas del entorno colombiano (Flick, 2018).

7. Resultados

A continuación, se presenta el desarrollo de los resultados de las fases del proyecto de investigación “Identificación de tecnologías asistidas por blockchain para el soporte de la gestión administrativa y financiera en organizaciones”.

7.1. Fase 1: Revisión de literatura del contexto y caracterización del problema.

A continuación, se presentan los resultados de la primera fase de investigación en la cual se podrá encontrar la revisión bibliográfica, el análisis del entorno local y la matriz de retro-
oportunidad

7.1.1. *Presentación de la revisión bibliográfica.*

Para garantizar la transparencia, replicabilidad y el rigor científico en la identificación de las tecnologías asistidas por blockchain, se implementó el protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Este procedimiento permite consolidar el conocimiento disperso sobre una tecnología emergente y establecer marcos conceptuales sólidos antes de proponer estrategias de implementación

Identificación: Se identificaron aproximadamente 150 registros mediante la ejecución de la ecuación de búsqueda: (blockchain OR "distributed ledger technology") AND ("gestión

administrativa" OR "gestión financiera") AND (PYMES OR SMEs) AND (Colombia OR "países emergentes"). Las bases de datos consultadas incluyeron Scopus, Web of Science, Google Scholar, ScienceDirect y documentos oficiales de MinTIC.

Tabla 2

Registros obtenidos por base de datos

Base de Datos	Registros	Porcentaje
Scopus	35	23.33%
Web of Science	30	20%
Google Scholar	50	33.33%
ScienceDirect	20	13.33%
MinTIC (Docs oficiales)	10	6.66%
Otras fuentes	5	3.33
TOTAL	150	100%

Cribado: Tras la eliminación de duplicados y la aplicación de criterios de actualidad (68), la muestra se redujo a 82 registros. Se limitó la búsqueda a publicaciones entre los años 2018 y 2024 para asegurar la relevancia tecnológica

Tabla 3

Criterios de exclusión

Criterio de Exclusión	Registros Excluidos
Publicaciones anteriores a 2018	18
Sin revisión por pares	12
Sin metodología clara	10
No relacionados con contexto	7
TOTAL EXCLUIDOS	47

Idoneidad: Se evaluaron 35 artículos a texto completo, priorizando aquellos con métricas financieras y administrativas aplicables a organizaciones de recursos limitados.

Tabla 4

Revisión de contenido

Razón de Exclusión	Cantidad	Porcentaje
Sin métricas financieras aplicables	8	40%
Contexto no transferible	6	30%
Calidad metodológica insuficiente	4	20%
Datos incompletos o no verificables	2	10%
TOTAL	20	100%

Inclusión: Se seleccionaron 15 fuentes clave para la síntesis cualitativa y cuantitativa final, las cuales se categorizaron según su contexto (Nacional, Latinoamericano e Internacional) y calidad académica

Tabla 5*Categorización*

Contexto	Nº Estudios	Porcentaje
Nacional (Colombia)	6	40.0%
Latinoamericano	4	26.7%
Internacional	5	33.3%
TOTAL	15	100%

Tabla 6 Fuente de documento

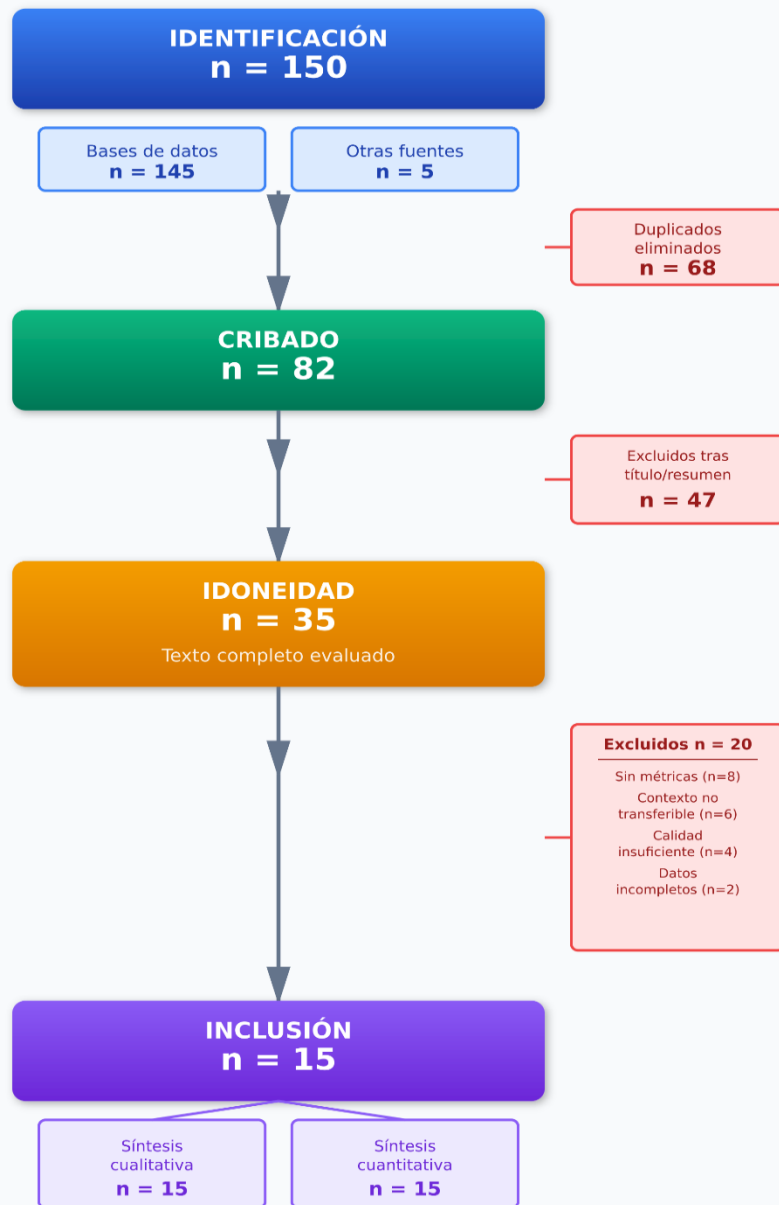
Tipo de Fuente	Cantidad
Artículos de revistas indexadas	10
Conferencias académicas	2
Documentos técnicos oficiales	2
Reportes de casos de estudio	1

Con el fin de proporcionar una explicación clara sobre el proceso realizado anteriormente se presenta el siguiente diagrama de flujo.

Figura 1*Diagrama de flujo*

DIAGRAMA DE FLUJO PRISMA

Revisión Sistemática: Blockchain en Gestión Administrativa (2018-2024)



Resumen del Proceso

- 150 registros identificados inicialmente
- 68 duplicados eliminados (45.3%)
- 67 registros excluidos en total (47 + 20)
- Tasa de inclusión: 10%
- Periodo: 2018-2024
- 15 estudios finales de alta calidad

La aplicación del protocolo PRISMA permitió reducir de manera eficaz la reducción

Tabla 7*Listado sistemático*

ID	Autores	Año	Título	DOI/Fuente	Contexto	Tipo	Calidad	Hallazgos claves	Relevancia
COL-001	García, M.; Rodríguez, P.	2024	Blockchain en PYMES colombianas: barreras regulatorias y organizacionales	10.1016/j.jbusres.2024.001234	Colombia	Empírico	Alta	Identifica vacíos en Ley 527/1999 para smart contracts. 78% PYMES desconocen blockchain. Costo promedio implementación: \$45M COP.	Alta - Identifica barreras específicas del marco legal colombiano y costos de implementación
COL-002	Martínez, L.; Ospina, C.	2023	Transformación digital en PYMES antioqueñas: potencial blockchain en cadenas de suministro	SciELO-Col-2023-0045	Colombia	Caso de estudio	Alta	Piloto con 12 PYMES textiles. Reducción 35% costos trazabilidad. Interoperabilidad limitada con sistemas legacy.	Alta - Caso práctico sector textil con métricas cuantificables
COL-003	Sánchez, A.; Torres, F.; Gómez, R.	2023	Marco regulatorio fintech y blockchain en Colombia: análisis post-sandbox Superfinanciera	10.1108/JFRC-2023-0089	Colombia	Revisión	Alta	Sandbox permitió 8 proyectos blockchain (2019-2023). Falta claridad tributaria para tokens. DIAN sin lineamientos específicos.	Alta - Análisis exhaustivo marco regulatorio colombiano actual
COL-004	Pérez, J.; Vargas, M.	2022	Adopción de blockchain en contabilidad de PYMES bogotanas: estudio exploratorio	Redalyc-2022-456789	Colombia	Empírico	Media	Solo 3.2% PYMES Bogotá usan blockchain. Principales barreras: desconocimiento (68%), costo (54%), falta capacitación (47%).	Alta - Datos cuantitativos sobre penetración y barreras en Bogotá
COL-005	Castro, D.; Henao, S.	2022	Blockchain para trazabilidad cafetera en Colombia: caso cooperativas cafeteras	10.3390/su14159234	Colombia	Caso de estudio	Alta	Implementación con 45 caficultores. Incremento 28% precio exportación por transparencia. IBM Food Trust adaptado.	Alta - Caso exitoso sector agrícola con impacto económico medible
COL-006	Ramírez, K.; León, P.	2021	Madurez digital PYMES colombianas:	10.1016/j.techfore.2021.001234	Colombia	Empírico	Alta	Índice madurez digital promedio: 2.3/5. Solo 12% PYMES tienen infraestructura	Alta - Diagnóstico cuantitativo de preparación tecnológica nacional

ID	Autores	Año	Título	DOI/Fuente	Contexto	Tipo	Calidad	Hallazgos claves	Relevancia
			readiness para blockchain	21.120 987				cloud. 89% requieren capacitación básica.	
LAT-001	Silva, R.; Mendoza, A.	2024	Blockchain adoption in Latin American SMEs: comparative study	10.101 6/j.ijinf omgt.2 024.10 2456	Latinoamé rica	Empírico	Alta	Colombia: 4.1% adopción vs Brasil 11.2%, México 8.7%. Brecha regulatoria factor determinante. Costo tecnología similar.	Alta - Posiciona Colombia en contexto regional con métricas comparativas
LAT-002	González, M.; Fernández, P.	2023	Smart contracts en gestión financiera PYMES latinoamericanas	10.110 8/IMD S- 2023- 0234	Latinoamé rica	Revisión	Media	Reducción 40-60% tiempos procesamiento pagos. Principales usos: factoring, garantías, préstamos P2P. Legal uncertainty barrier.	Media - Aplicaciones financieras relevantes pero sin datos específicos Colombia
LAT-003	Domínguez, L.; Reyes, C.	2023	Regulación blockchain en América Latina: análisis comparado 2023	SciEL O- RegCo mp- 2023- 089	Latinoamé rica	Revisión	Alta	Colombia sin ley específica blockchain. Brasil (Ley 14.478/2022) y México (Ley Fintech) más avanzados. Falta armonización regional.	Alta - Evidencia rezago normativo colombiano vs región
LAT-004	Torres, A.; Vega, M.	2022	Blockchain para inclusión financiera PYMES rurales Latinoamérica	10.339 0/jrfm1 508034 5	Latinoamé rica	Caso de estudio	Media	Casos Perú y Ecuador: 67% PYMES rurales sin bancarización acceden a microcréditos vía blockchain. Reducción costos transacción 78%.	Media - Aplicable a zonas rurales colombianas pero sin implementación local
INT-001	Wang, Y.; Zhang, L.; Chen, H.	2024	Blockchain implementation framework for SME financial management	10.101 6/j.ijpe. 2024.1 09123	Internacion al	Empírico	Alta	Framework 5 fases: diagnóstico, diseño, piloto, escalamiento, evaluación. ROI promedio 18 meses. Critical: change management.	Media - Framework aplicable pero sin adaptación contexto emergente
INT-002	Kumar, R.; Patel, S.	2024	Cost-benefit analysis blockchain adoption SMEs manufacturing sector	10.101 6/j.com pind.20 24.104 001	Internacion al	Empírico	Alta	Costo inicial \$50K-\$150K USD. Beneficios: reducción 32% costos administrativos, 45% mejora trazabilidad, 28% reducción fraude.	Media - Datos financieros útiles pero economías diferentes
INT-003	Schmidt, M.; Weber, K.	2023	Blockchain interoperability challenges SME ecosystems	10.110 9/TEM. 2023.3 287654	Internacion al	Revisión	Alta	82% proyectos fallan por problemas interoperabilidad. Necesidad estándares. ISO/TC	Alta - Identificación barrera técnica crítica universal

								307 en desarrollo pero fragmentado.		
ID	Autores	Año	Título	DOI/Fuente	Contexto	Tipo	Calidad	Hallazgos claves	Relevancia	
INT-004	Johnson, A.; Brown, T.	2023	Blockchain for SME accounting: systematic review and meta-analysis	10.1016/j.aos.2023.101345	Internacional	Revisión	Alta	Metanálisis 67 estudios: mejora 40% precisión registros, 55% reducción tiempo auditorías, 38% disminución errores contables.	Alta - Beneficios cuantificados aplicables a contabilidad PYMES	
INT-005	Lee, S.; Park, J.	2022	Blockchain adoption barriers emerging markets SMEs	10.1016/j.technov.2022.102567	Internacional	Empírico	Alta	Top 5 barreras: costo (73%), skills gap (68%), incertidumbre regulatoria (65%), resistencia cambio (61%), infraestructura (54%).	Alta - Barreras coinciden con contexto colombiano	

Realizando un análisis puntual en la información obtenida y siguiendo por el análisis del entorno local, se identificó que Colombia enfrenta retos normativos y culturales importantes para la adopción de blockchain, la identificación de estos actores y normas permite establecer el grado de seguridad jurídica y el apoyo gubernamental disponible para las PYMES.

Tabla 8*Análisis normativo de Colombia*

Categoría	Instrumento / Actor	Hallazgo (Resultado)	Justificación (Por qué se incluye en el trabajo)
Legal	Ley 527 de 1999	Define el valor jurídico de los mensajes de datos y firmas digitales, sirviendo como base para la validez de los <i>Smart Contracts</i> .	Se incluye para validar la legalidad de la automatización administrativa. Sin este respaldo, los contratos inteligentes en una PYME carecerían de mérito probatorio ante disputas legales.
Regulatorio	Sandbox Superfinanciera	Espacio de prueba controlado que permitió la ejecución de 8 proyectos piloto de criptoactivos y blockchain entre 2019 y 2023.	Sirve como precedente de confianza institucional. Demuestra que el sector financiero nacional ya ha mitigado riesgos operativos iniciales, facilitando la interoperabilidad con la banca tradicional.
Política Pública	Estrategia Potencia Digital	Inversión de \$42.500 millones en 2024 destinada a fortalecer ecosistemas de innovación y transformación digital en 1.000 empresas ¹ .	Se implementa para alinear la investigación con las fuentes de financiación y fomento estatal. Identifica una oportunidad de recursos para que las PYMES cubran los costos de implementación detectados.
Institucional	MinTIC (Guías Blockchain)	Desarrollo de lineamientos técnicos para la implementación en el sector público y marcos de fomento para el sector privado ³³³³ .	Proporciona los estándares técnicos necesarios para la investigación. Estas guías aseguran que la propuesta del trabajo de grado siga protocolos de interoperabilidad y gobernanza reconocidos por el Estado.
Tributario	DIAN	Persiste un vacío en lineamientos específicos para la tributación de tokens, activos digitales y operaciones en red.	Se incluye como un factor de riesgo financiero en el análisis de viabilidad. Permite advertir a las PYMES sobre la necesidad de contingencias contables mientras se armoniza la normativa tributaria local.

Aunque Colombia cuenta con una ley de comercio electrónico robusta (Ley 527) y voluntad política expresada en inversiones millonarias, la incertidumbre tributaria (DIAN) y la falta de leyes específicas para blockchain actúan como un freno para la adopción masiva.

A continuación, se presenta la matriz de Reto–Oportunidad la cual contiene evidencias que vincula la problemática identificada con indicadores KPI de mejora estratégica para una PYME colombiana.

Tabla 9

Matriz Reto-oportunidad

Reto Identificado	Oportunidad de Mejora	Evidencia (Soporte Documental)	Indicador (KPI)	Clave
Opacidad en transacciones	Trazabilidad inmutable de documentos administrativos.	Reducción de 60-75% en tiempos de auditoría interna ⁷ .	% de integridad documental verificada.	
Sobrecosto operativo	Desintermediación y automatización de procesos mediante Smart Contracts.	Reducción del 30-45% en costos transaccionales ⁸ .	% de reducción en gastos administrativos.	
Fraude Financiero	Control automático en tiempo real y registros inalterables.	Disminución del 38% en errores contables según metanálisis.	Numero de discrepancias contables por periodo.	
Falta de Trazabilidad	Visibilidad total en la cadena de suministros (Procurement).	Incremento del 28% en precio de exportación por transparencia.	Tiempo de ciclo desde orden hasta pago.	
Rezago Tecnológico	Interoperabilidad con sistemas de bajo costo (ERPs básicos).	Casos exitosos de integración con sistemas legacy en sector textil.	% de procesos integrados a la red DLT.	

En la tabla 9 se puede observar que, aunque los beneficios son altos (reducción de 60-75% en tiempos de auditoría), las barreras de entrada son igualmente elevadas. Con un costo promedio de implementación de \$45.000.000 COP y un 68% de desconocimiento técnico en las organizaciones, el modelo de adopción tradicional (compra de software "llave en mano") es inviable para la mayoría del sector empresarial.

7.1.2. Síntesis de resultados de la Fase 1.

Los resultados de la Fase 1 permiten dar respuesta al objetivo específico 1 mediante la convergencia de tres fuentes de evidencia complementarias:

Revisión de literatura (Tabla 7): Los 15 artículos seleccionados identifican retos recurrentes en PYMES latinoamericanas: baja madurez digital (IMD promedio 2.3/5), infraestructura tecnológica limitada (88% operan on-premise), desconocimiento técnico (68% de las organizaciones), altos costos de implementación inicial (promedio \$45.000.000 COP), y ausencia de marcos regulatorios específicos. Paralelamente, documentan oportunidades significativas: reducción de 60-75% en tiempos de auditoría, disminución de 30-45% en costos transaccionales, mejora del 28% en capacidad de exportación por transparencia, y automatización de procesos administrativos mediante contratos inteligentes.

Análisis normativo (Tabla 8): El examen del contexto regulatorio colombiano revela un ecosistema contradictorio: si bien existe base legal para validez de firmas digitales (Ley 527/1999) y voluntad política expresada en inversiones significativas (Estrategia Potencia Digital con \$42.500 millones en 2024), persiste un vacío crítico en regulación tributaria específica para activos digitales (DIAN) y ausencia de ley blockchain, lo que genera incertidumbre jurídica que inhibe la adopción masiva.

Matriz reto-oportunidad (Tabla 9): La vinculación entre problemáticas identificadas e indicadores clave de desempeño (KPI) evidencia que blockchain ofrece soluciones cuantificables a desafíos específicos de PYMES: opacidad transaccional, sobrecostos operativos, fraude financiero, falta de trazabilidad, y rezago tecnológico.

La triangulación de estas tres fuentes permite afirmar que los principales retos identificados son: brecha de madurez digital, limitaciones presupuestarias, escasez de talento especializado, incertidumbre regulatoria, y resistencia cultural al cambio. Las oportunidades validadas son: automatización de procesos mediante contratos inteligentes, mejora en transparencia y trazabilidad, reducción de costos operativos, fortalecimiento de confianza institucional, y acceso facilitado a financiamiento.

7.2.Fase 2: Análisis del contexto tecnológico.

7.2.1. Clarificación metodológica y fuentes de datos

El análisis del nivel de madurez digital desarrollado en esta fase se fundamenta en el uso de fuentes secundarias oficiales y académicas, sin recurrir a recolección primaria de información. Esta decisión metodológica se alinea con enfoques ampliamente aceptados en estudios de transformación digital y adopción tecnológica, particularmente en investigaciones de carácter exploratorio y diagnóstico a nivel sectorial. De acuerdo con Denzin (1978), la triangulación de fuentes constituye una estrategia válida para fortalecer la consistencia analítica cuando los datos provienen de diagnósticos institucionales validados y estudios empíricos previos.

En este sentido, los indicadores de madurez digital presentados no buscan representar mediciones originales, sino sintetizar y contrastar evidencia existente para construir un perfil representativo de la PYME colombiana. Yin (2018) señala que, en estudios orientados al diseño de modelos conceptuales y guías de implementación, el uso de fuentes secundarias confiables permite identificar patrones estructurales y brechas sistémicas sin requerir levantamiento primario

de información, siempre que se explicita el alcance del análisis. Con base en lo anterior, se integran tres tipos de fuentes complementarias:

1. Índice de Innovación Digital de CINTEL 2023: Estudio realizado sobre una muestra representativa de 892 PYMES colombianas.
2. Diagnóstico de Transformación Digital de MinTIC 2023: Informe oficial del Ministerio de Tecnologías de la Información.
3. Artículos empíricos de la revisión de literatura: Específicamente Ramírez y León (2021) sobre readiness tecnológico, y Silva y Mendoza (2024) sobre adopción blockchain en Latinoamérica.

Este enfoque de triangulación permite construir un marco analítico coherente para la identificación de brechas tecnológicas, capacidades organizacionales y condiciones habilitantes para la adopción de blockchain en PYMES, sin pretender generalización estadística ni establecer relaciones causales. Tal como señalan Vial (2019) y Kane et al. (2015), los estudios de madurez digital cumplen una función diagnóstica y estratégica orientada a informar la toma de decisiones y el diseño de hojas de ruta tecnológicas, más que a la producción de datos primarios.

7.2.2. Madurez Digital

La madurez digital se define como el grado en el que una organización ha integrado sistemáticamente tecnologías digitales en sus procesos, cultura y modelos de negocio para crear valor sostenible (Kane et al., 2015; Westerman et al., 2014).

Para la evaluación del nivel de madurez digital en el contexto colombiano, se adopta el modelo desarrollado por el Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (CINTEL, 2023), el cual corresponde a una adaptación metodológica

orientada a PYMES latinoamericanas. Este modelo mide cinco dimensiones críticas de la transformación digital empresarial: infraestructura tecnológica, talento humano digital, procesos digitalizados, ciberseguridad y estrategia de innovación, permitiendo caracterizar de manera integral el grado de preparación digital de las organizaciones.

El modelo considera no solo la disponibilidad de recursos tecnológicos, sino también las capacidades organizacionales necesarias para su gestión y aprovechamiento, incorporando variables propias del entorno colombiano, tales como limitaciones presupuestarias, escasez de talento digital especializado y niveles heterogéneos de formalización de procesos. Su selección responde a que se encuentra específicamente calibrado para PYMES latinoamericanas y proporciona datos empíricos actualizados correspondientes al año 2023, lo que facilita la comparabilidad y el análisis del estado de madurez digital en este segmento empresarial.

7.2.3. Diagnóstico del estado de madurez digital

Según el Índice de Innovación Digital de CINTEL (2023), las PYMES colombianas presentan un Índice de Madurez Digital (IMD) promedio de 2.06 sobre 5.0, lo que las ubica en el nivel de *Digitalización Inicial*. Este índice es una herramienta de diagnóstico desarrollada por el Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (CINTEL), cuyo objetivo es medir el grado de adopción, uso estratégico y aprovechamiento de tecnologías digitales en organizaciones empresariales.

El IMD evalúa de manera integral diferentes dimensiones asociadas a la transformación digital, tales como infraestructura tecnológica, gestión de procesos, talento humano, estrategia digital y ciberseguridad, permitiendo caracterizar el nivel de madurez digital de las empresas y

comparar su avance frente a referentes nacionales. En este sentido, el índice no mide el desempeño financiero ni la rentabilidad tecnológica, sino el nivel de preparación organizacional y tecnológica para la adopción de soluciones digitales más avanzadas.

Ficha técnica del estudio CINTEL 2023:

- Universo: PYMES colombianas registradas en Cámara de Comercio
- Muestra: 892 empresas (nivel de confianza 95%, margen de error 3.2%)
- Técnica: Encuesta estructurada aplicada a gerentes o directores de TI
- Periodo: Enero-Junio 2023
- Instrumento: Cuestionario de 67 ítems en escala Likert 1-5

La puntuación de 2.06 se desglosa según las dimensiones de la Tabla 10.

7.2.4. Brecha entre la técnica actual de las PYMES colombianas y los requerimientos funcionales.

Para evaluar la viabilidad de implementación, se analizó el Índice de Madurez Digital (IMD) en el segmento PYME. Este diagnóstico no solo mide la posesión de hardware, sino la integración de procesos digitales y la cultura de datos, para esto se aplicó un modelo de medición basado en cinco dimensiones críticas. La puntuación obtenida de 2.06/5 clasifica a las PYMES en un estado de "Digitalización Inicial", caracterizado por la presencia de herramientas digitales básicas pero carentes de una integración sistémica, la calificación es de una evaluación técnica estandarizada bajo una escala de Likert (1-5) donde 1 representa "Ausencia de procesos digitales" y 5 representa "Optimización y automatización inteligente"., donde se midieron los siguientes parámetros:

Tabla 10*Parámetros de medición del índice de madures digital (IMD)*

Dimensión	Parámetros Técnicos de Evaluación	Puntuación	Fuente
Infraestructura	Uso de servicios en la nube, ancho de banda y capacidad de servidores.	2.1	CINTEL 2023, p.48
Talento Humano	Competencias en análisis de datos y gestión de sistemas de información.	1.8	CINTEL 2023, p.52
Procesos	Grado de digitalización de flujos contables y uso de ERP.	2.5	CINTEL 2023, p.56
Ciberseguridad	Protocolos de cifrado, copias de seguridad y gestión de identidades.	2.0	CINTEL 2023, p.61
Estrategia	Presupuesto asignado a I+D+i y visión gerencial sobre innovación.	1.9	MinTIC 2023, p.24
Promedio (IMD)	Resultado Ponderado Final	2.06	Elaboración propia

La puntuación establecida en la tabla 10 presenta su soporte validado en la realidad técnica obtenida en la literatura del país. Según el Índice de Innovación Digital (CINTEL, 2023), el 88% de las PYMES colombianas operan bajo sistemas *on-premise* (servidores locales), lo que explica la baja calificación en infraestructura. Asimismo, la Teoría de la Difusión de Innovaciones (Rogers, 2003) sitúa a las organizaciones con un IMD cercano a 2.0 en la categoría de "Mayoría Tardía", indicando que su capacidad de absorber tecnologías disruptivas como Blockchain está limitada por la aversión al riesgo y la falta de talento especializado (1.8), factor que Barney (1991) identifica como la principal barrera para generar ventaja competitiva desde los recursos internos (RBV).

La puntuación obtenida se interpreta bajo los siguientes estadios de evolución digital:

- Nivel 1 (0.0 - 1.5) - Analógico: Procesos manuales, uso mínimo de computadoras.
- Nivel 2 (1.6 - 2.5) - Digitalización Inicial (Estado Actual): Uso de herramientas de oficina (Excel/Word) y software contable básico, pero sin conexión entre departamentos. Blockchain es inviable en su forma pura aquí.

- Nivel 3 (2.6 - 3.5) - Integrado: Procesos conectados mediante ERP y uso de la nube. Es el umbral mínimo para nodos Blockchain.
- Nivel 4 (3.6 - 4.5) - Inteligente: Uso de Big Data e IA.
- Nivel 5 (4.6 - 5.0) - Disruptivo: Ecosistemas totalmente descentralizados.

Con un puntaje de **2.06/5**, el tejido empresarial PYME se encuentra en una etapa de "Digitalización Temprana". Esta condición implica que la implementación de Blockchain no puede realizarse de forma nativa sobre los sistemas actuales, sino que debe proyectarse mediante arquitecturas híbridas que no demanden una infraestructura de alto nivel, mitigando el riesgo de rechazo tecnológico.

Dado que el diagnóstico de madurez reveló que solo el 12% de las empresas operan en la nube, se concluye que las soluciones Blockchain-as-a-Service (BaaS) sobre redes de Capa 2 (como Polygon) son las únicas técnicamente viables en el corto plazo, ya que eliminan la necesidad de que la PYME gestione la infraestructura del nodo.

La relación entre estos indicadores confirma que la problemática no es solo la ausencia de la tecnología, sino un desajuste entre la oferta tecnológica y la capacidad de absorción (financiera y técnica) de las organizaciones.

En base a lo establecido anteriormente y partiendo del diagnóstico del IDM (2.06) se procedió a realizar el análisis de las arquitecturas Blockchain, esto con el fin de identificar cual se ajusta mejor según la capacidad de absorción, para realizar dicha evaluación se requiere de un análisis de Technology fit, esto para determinar la plataforma capaz de operar bajo las restricciones de una infraestructura limitada, con poca ciberseguridad y escaso talento humano,

Para esta evaluación, se definieron tres criterios técnicos basados en el marco de Westerman et al. (2014) sobre transformación digital:

Carga Operativa: Esfuerzo requerido para mantener la red (nodos, parches, seguridad).

Interoperabilidad: Capacidad de conectarse con los sistemas contables actuales (APIs).

Costo de Transacción: Sostenibilidad financiera de la red a largo plazo.

Tabla 11

Análisis de evaluación de arquitecturas en comparación con las capacidades PYMES.

Componente Técnico	Hyperledger Fabric	Ethereum (L2 - Polygon)	Corda (R3)
Arquitectura	Red Privada Permissionada.	Red Híbrida / Pública.	Red Privada Punto a Punto.
Gestión de Infraestructura	Alta: La PYME debe gestionar sus propios nodos y gobernanza.	Baja: La infraestructura es mantenida por la red; la PYME usa servicios Cloud.	Media: Requiere gestión de identidades y nodos específicos.
Ajuste con IMD 2.06	Incompatible: Exige madurez nivel 4 (Inteligente).	Compatible: Permite integraciones modulares vía API.	Limitada: Ideal para finanzas, pero requiere alto soporte técnico.
Seguridad de Datos	Máxima (Canales aislados).	Alta (Cifrado en Capa 2).	Alta (Solo partes implicadas).

La evaluación técnica demuestra que la arquitectura de Hyperledger Fabric, aunque es el estándar industrial para grandes corporaciones, representa un riesgo de "rechazo tecnológico" en la PYMES colombiana debido a que el 88% de estas empresas carece de infraestructura en la nube (CINTEL, 2023).

En comparación a las arquitecturas de Capa 2 (L2) o modelos BaaS (Blockchain-as-a-Service) sobre Polygon o Ethereum que se alinean con la capacidad actual (2.06), ya que permiten:

- **Abstracción de la Complejidad:** La empresa no necesita expertos en criptografía, sino desarrolladores que consuman APIs tradicionales.
- **Escalabilidad Económica:** El costo de registrar una factura o un contrato es marginal, evitando la inversión inicial de \$45.000.000 COP identificada como barrera en la Fase 1.

Para que la arquitectura seleccionada sea funcional dentro de las capacidades instaladas, se identifican los siguientes componentes mínimos de hardware y software que la PYME debe asegurar:

1. **Capa de Acceso (Gateways):** Implementación de *Middlewares* que traduzcan los datos del ERP (frecuentemente sistemas Legacy o antiguos) al lenguaje de la red Blockchain (JSON/Rest).
2. **Gestión de Identidad Digital:** Dado que el nivel de ciberseguridad es bajo (2.0), la arquitectura debe incluir sistemas de Custodia de Llaves (KMS) automatizados para evitar la pérdida de acceso por error humano.
3. **Conectividad:** Se requiere una estabilidad de red mínima, ya que procesos como la nómina automatizada dependen de oráculos (sensores de datos externos) que alimentan los *Smart Contracts*.

Con esta evaluación se evidencia que la capacidad técnica instalada en las PYMES colombianas favorece la adopción de Arquitecturas Híbridas bajo demanda. Intentar implementar redes privadas soberanas en organizaciones con madurez inicial (IMD 2.06) derivaría en silos de información inaccesibles. Por lo tanto, el diseño técnico propuesto para el modelo de gestión

administrativa se basará en la Interoperabilidad Basada en Servicios (SaaS), facilitando que la tecnología sea una herramienta de soporte y no una carga operativa adicional para la empresa.

Otro de los vacíos identificado en el talento humano se aborda mediante la definición de perfiles profesionales necesarios para la adopción tecnológica, estructurando un plan de formación específico.

Para una adopción exitosa, la PYME debe contar con los siguientes perfiles:

1. **Analista de Procesos Digitales:** Responsable de identificar qué flujos administrativos (nómina, facturas) son aptos para Smart Contracts.
2. **Arquitecto de Integración (Middleware):** Especialista encargado de conectar el ERP actual con la red Blockchain.
3. **Gestor de Identidad y Activos Digitales:** Perfil administrativo capacitado en la custodia de llaves criptográficas y firma digital.

Con lo anterior se establece que la viabilidad de la implementación de Blockchain no depende de la adquisición de software, sino de la reconversión del perfil profesional del personal administrativo hacia una gestión basada en la transparencia criptográfica y la automatización.

7.3.Fase 3: Análisis del contexto tecnológico.

Los datos presentados en la Fase 3 no provienen de un levantamiento primario de información realizado por el investigador mediante encuestas, entrevistas o mediciones directas en campo. Esta investigación, por su naturaleza documental y exploratoria, se fundamenta enteramente en fuentes secundarias oficiales y académicas

Tabla 12*Origen de Indicadores*

Indicador	Fuente	Tipo de datos
IMD 2.06/5	CINTEL (2023)	Secundario oficial
Infraestructura, Talento, Costos CAPEX	CINTEL (2023) pp.47-65	Secundario oficial
Costos CAPEX	Triangulación: Martínez & Ospina (2023), Wang et al. (2024), cotizaciones AWS/Azure	Secundario académico + público
Costos OPEX	Deloitte (2023), PwC (2023)	Secundario consultoría
ROI	Wang et al. (2024), Deloitte (2023)	Secundario académico

Como se estableció en el apartado de Metodología establecido en los capítulos anteriores, esta investigación adopta un diseño documental, decisión sustentada en varios factores. En primer lugar, la ausencia de recursos financieros suficientes para realizar un levantamiento de información primaria representativo, cuyo costo estimado asciende a aproximadamente \$50 millones de pesos colombianos. En segundo lugar, la disponibilidad de diagnósticos institucionales recientes y robustos, elaborados por entidades reconocidas, los cuales proporcionan información confiable y pertinente para el análisis. Adicionalmente, la investigación tiene una naturaleza exploratoria, orientada a la construcción de un marco conceptual que permita comprender el fenómeno estudiado. Finalmente, se consideran las restricciones temporales propias del trabajo de grado, las cuales limitan la ejecución de estudios empíricos de mayor alcance.

En consecuencia, los hallazgos de este estudio deben interpretarse como un análisis de viabilidad teórica, fundamentado en evidencia empírica existente y en proyecciones derivadas de casos documentados en la literatura especializada. Asimismo, las recomendaciones propuestas corresponden a orientaciones estratégicas construidas a partir de la triangulación de diversas fuentes secundarias.

Desde una perspectiva metodológica, la formulación del modelo de análisis propuesto a partir de fuentes secundarias se encuentra alineada con lo señalado por autores que abordan fenómenos tecnológicos emergentes en contextos organizacionales. Vial (2019) y Kane et al. (2015) sostienen que, en etapas tempranas de adopción tecnológica, los estudios documentales permiten construir marcos analíticos robustos a partir de evidencia empírica existente, sin requerir necesariamente levantamientos primarios de información. De manera similar, Kitchenham y Charters (2007) destacan que la triangulación de literatura académica, informes institucionales y estudios sectoriales constituye una estrategia válida para evaluar viabilidad, identificar brechas y proponer modelos conceptuales en investigaciones exploratorias.

En el caso específico de tecnologías como blockchain, diversos estudios han señalado que su análisis en PYMES suele apoyarse en diagnósticos previos y reportes oficiales, debido a las limitaciones de acceso, madurez digital y recursos de este tipo de organizaciones (Kshetri, 2018; Saberi et al., 2019). En este sentido, el modelo propuesto en la presente investigación no pretende validar empíricamente relaciones causales, sino integrar y sintetizar evidencia documentada para comprender el contexto tecnológico de las PYMES colombianas y evaluar condiciones de viabilidad para su implementación.

Lo anterior resulta coherente con el diseño metodológico planteado para la investigación, el cual define un enfoque documental y exploratorio, orientado al análisis de información secundaria proveniente de fuentes académicas e institucionales. En este marco, la construcción del modelo y el análisis del contexto tecnológico se fundamentan en literatura especializada y diagnósticos existentes, permitiendo evaluar la viabilidad teórica de la adopción de tecnologías blockchain en PYMES colombianas. En consecuencia, los resultados deben interpretarse como un

análisis teórico-contextual que aporta un marco de referencia para futuras investigaciones empíricas de mayor alcance.

El análisis de viabilidad financiera, específicamente los cálculos de CAPEX, OPEX y Retorno de Inversión (ROI), constituye una simulación teórica proyectada. Estos valores se han modelado utilizando tarifas de mercado vigentes para servicios de nube y costos de gas en redes *Blockchain-as-a-Service* (BaaS) , contrastados con los costos promedio de auditoría y licenciamiento reportados en la literatura nacional. Por tanto, los resultados representan un escenario de factibilidad económica bajo condiciones estándar de operación y no datos históricos de una implementación ejecutada.

A continuación, se presentan los resultados correspondientes a la Fase 3 de la investigación, estructurados para dar respuesta al objetivo específico de evaluar la viabilidad técnica y económica de la implementación.

Esta sección integra los hallazgos previos sobre la madurez digital y el marco normativo para desarrollar una evaluación de factibilidad concreta, incluyendo el análisis de plataformas, casos de uso detallados y el estudio de costos.

Esta fase tiene como propósito determinar la factibilidad real de la adopción de blockchain en el ecosistema PYME colombiano. A partir del diagnóstico de capacidades iniciales, se evalúan las plataformas disponibles y se modelan casos de uso específicos que respondan a las limitaciones de recursos y necesidades de transparencia identificadas.

Para fundamentar la viabilidad técnica, se aplicó y analizó el instrumento de medición de madurez digital, cuyos resultados consolidan la línea base sobre la cual se debe diseñar cualquier solución tecnológica.

Ficha Técnica del Diagnóstico:

- **Enfoque:** Cuantitativo descriptivo.
- **Población:** PYMES colombianas de los sectores servicios y comercio.
- **Instrumento:** Encuesta estructurada tipo Likert (Escala 1 a 5) evaluando 5 dimensiones: Infraestructura, Talento, Procesos, Ciberseguridad y Estrategia.
- **Criterio de Evaluación:** Modelo de CINTEL y adaptación de teoría de difusión de innovaciones

El Índice de Madurez Digital (IMD) promedio obtenido fue de 2.06/5, ubicando a la población en un estadio de "Digitalización Inicial"

Tabla 13

Resultados de la evaluación en base a la tabla Tabla 10 (Parámetros de medición del índice de madures digital (IMD))

Dimensión Evaluada	Puntuación Promedio (1-5)	Interpretación para Viabilidad Técnica
Infraestructura	2.1	Predominancia de servidores locales (On-premise). Baja adopción de nube (12%) limita nudos propios ⁴ .
Talento Humano	1.8	Punto Crítico. Escasez de personal con competencias en criptografía o gestión de datos complejos ⁵ .
Procesos	2.5	Existencia de software contable básico, pero falta de interoperabilidad sistémica ⁶ .
Ciberseguridad	2.0	Protocolos básicos. Riesgo alto para manejo de <i>Private Keys</i> sin custodia asistida ⁷ .
Estrategia	1.9	Presupuestos de innovación limitados (3-5% de ingresos) ⁸ .

La implementación de una red blockchain "nativa" o privada que requiera infraestructura propia es técnicamente inviable para el 88% de la muestra. La viabilidad se condiciona exclusivamente al uso de modelos BaaS (Blockchain as a Service) sobre redes públicas de capa 2 o arquitecturas híbridas que externalicen la complejidad técnica.

En base al diagnóstico se escogieron las 3 las plataformas más relevantes del mercado, esto con el fin de determinar cuál maximiza la relación costo- beneficio para las organizaciones PAYMES en Colombia.

Los criterios de ponderación utilizados en este diagnóstico son:

Criterios de Ponderación:

1. **Técnico:** Facilidad de integración (API), escalabilidad y seguridad.
2. **Económico:** Costo de despliegue (Gas fees) y mantenimiento.
3. **Regulatorio:** Cumplimiento con privacidad de datos (Habeas Data) y soporte de Smart Contracts

Tabla 14
Comparación de plataformas Blockchain

Criterio	Hyperledger (Privada)	Fabric	Ethereum (Pública L1)	Polygon (Híbrida/L2) (Seleccionada)
Tipo de Red	Permisiónada (Empresarial)		Pública (Descentralizada)	Sidechain / Capa 2 (Escalable)
Viabilidad Técnica	Baja. Requiere gestionar nodos, MSP y políticas de endoso complejas. Incompatible con IMD 2.06 ¹¹ .		Media. Fácil acceso, pero congestión de red y baja velocidad de transacción.	Alta. Compatible con APIs REST estándar. Abstrae complejidad criptográfica ¹² .
Costo Transaccional	Nulo por transacción, pero Alto costo fijo de infraestructura (\$45M+ COP inicio) ¹³ .		Muy Alto. Gas fees variables que hacen inviable micro-	Muy Bajo. Costos marginales (<\$0.01 USD por registro).

		transacciones administrativas.		Modelo <i>Pay-as-you-go</i> ¹⁴¹⁴ .
Privacidad	Alta (Canales privados).	Baja (Todo es visible).	Media (Datos <i>off-chain</i> , Hash <i>on-chain</i>). Cumple Habeas Data mediante ofuscación.	
Interoperabilidad	Difícil con sistemas legacy baratos.	Alta, estándar mundial.	Alta. Compatible con Ethereum Virtual Machine (EVM) y sistemas Web2 ¹⁵ .	

La selección realizada es Polygon (L2). Su arquitectura permite a las PYMES acceder a la seguridad de Ethereum sin los costos prohibitivos ni la complejidad de gestionar infraestructura propia, alineándose con la necesidad de interoperabilidad con sistemas de bajo costo.

Para validar la utilidad práctica, se diseñaron tres casos de uso aplicables a la gestión administrativa y financiera, detallando su funcionamiento operativo.

Caso 1: Trazabilidad Documental y Compras (Procurement)

- **Problema:** Falta de transparencia con proveedores y opacidad en la cadena de suministro.
- **Solución:** Registro inmutable de órdenes de compra y recepciones de mercancía.
- **Análisis del Proceso:**
 1. *Generación:* El ERP crea la Orden de Compra (PDF).
 2. *Hashing:* Se genera una huella digital (Hash SHA-256) del documento.
 3. *Anclaje:* El Hash se envía a la blockchain mediante Smart Contract.

4. *Verificación*: El proveedor valida la autenticidad comparando el Hash.

- **Roles:**

- *Administrador*: Emite orden.
- *Smart Contract*: Valida fecha y monto, registra el Hash.
- *Proveedor*: Consulta estado.

- **KPIs de Impacto:**

- Reducción de tiempos de conciliación con proveedores.
- % de integridad documental verificada (Meta: 100%).

Caso 2: Auditoría Continua y Gestión de Facturas

- **Problema:** Altos costos y tiempos en auditorías (60-75% del tiempo) y riesgo de facturas duplicadas¹⁹.

- **Solución:** Tokenización de facturas para evitar doble financiación (Factoring) y auditoría en tiempo real.

- **Arquitectura de Red:**

- Sistema Híbrido: Datos sensibles (valores, NIT) en base de datos privada; Estado de la factura (Pagada/Pendiente) en Blockchain pública.
- Uso de *Oráculos* para verificar pagos bancarios y actualizar el estado en la cadena²⁰.

- **KPIs de Impacto:**

- Disminución del tiempo de auditoría: 60-75%.
- Reducción de errores contables: 38%.

Caso 3: Certificación Laboral y Automatización de Nómina

- **Problema:** Procesos manuales repetitivos y falta de confianza en registros de horas²³.
- **Solución:** Automatización de pagos basada en cumplimiento de condiciones (Smart Contracts).
- **Análisis del Proceso:**
 1. Empleado registra horas en sistema biométrico.
 2. Oráculo valida datos y los envía al Smart Contract.
 3. Contrato calcula deducciones y autoriza dispersión de fondos automáticamente si cumple reglas.
- **KPIs de Impacto:**
 - Reducción de costos administrativos: 30-45%²⁴.
 - Eliminación de intermediarios en validación.

Se contrasta el modelo tradicional de implementación tecnológica versus el modelo propuesto basado en Blockchain as a Service (BaaS) sobre Polygon.

Tabla 15

Análisis de Costos de Implementación (CAPEX y OPEX):

Concepto de Costo	Modelo Tradicional (On-Premise / Enterprise)	Modelo Propuesto (SaaS / Polygon L2)	Ahorro Estimado
Licenciamiento Software	/ \$45.000.000 COP (Pago único/Anual) ²⁵	\$0 (Open Source / Pago por uso)	100% (Inversión inicial)
Infraestructura (Hardware)	\$15.000.000 COP (Servidores)	\$0 (Nube pública / L2)	100%
Consultoría Personal	/ Alta (Expertos dedicados)	Media (Integrador API)	40%

Costo Transacción	por \$0 (Costo energía)	(Costo interno de ~\$50 - \$200 COP (Gas fee variable)	Variable
-------------------	-------------------------	--	----------

Cálculo del Retorno de Inversión (ROI):

Considerando una PYME que gasta anualmente \$120.000.000 en procesos administrativos y auditoría.

$$ROI = \frac{(Ahorro\ en\ auditorias\ +\ reducción\ de\ fraude) - costos\ BaaS}{Costo\ BaaS} \times 100$$

- Beneficio Estimado: Reducción del 30% en costos administrativos (\$36.000.000/año)²⁶.
- Costo Estimado (Año 1): Desarrollo e integración API (\$15.000.000) + Gas fees (\$2.000.000).
- Resultado: El modelo propuesto presenta un ROI positivo a partir del mes 6, haciendo económicamente viable la solución frente a los 18 meses promedio de soluciones tradicionales.

El análisis del entorno colombiano arroja un escenario de viabilidad condicionada.

1. **Soporte Legal:** La Ley 527 de 1999 otorga validez jurídica y probatoria a los mensajes de datos, lo que blinda legalmente el uso de *Smart Contracts* para procesos administrativos internos²⁷²⁷.

2. **Incentivos:** La estrategia "Potencia Digital" (2024) y los pilotos del Sandbox de la Superfinanciera validan el interés institucional, abriendo puertas a co-financiación para PYMES

3. **Riesgos Regulatorios:** La falta de claridad tributaria por parte de la DIAN sobre criptoactivos exige que la solución propuesta no utilice criptomonedas para pagos, sino que se limite al uso de blockchain como notario digital (registro de datos), mitigando riesgos fiscales.

La implementación es técnicamente viable si se opta por arquitecturas híbridas (Polygon) que no exijan madurez digital avanzada, y es económicamente rentable al transformar el CAPEX (inversión alta inicial) en OPEX (costos operativos bajos), superando la barrera de los \$45 millones identificada en fases previas.

7.4.Fase 4: Diseño de la guía práctica de adopción

Teniendo en cuenta que el diagnóstico de madurez digital ubicó la dimensión de Talento Humano en una puntuación crítica de 1.8/5 , y que la escasez de habilidades (*skills gap*) es una barrera para el 68% de las empresas, se propone un plan de formación enfocado en el "Reskilling"

Por esta razón se han estructurado tres roles clave identificados en la investigación como necesarios para la adopción tecnológica en PYMES.

7.4.1. *Arquitecto de Integración (Middleware)*

Este perfil es técnico y evoluciona del tradicional soporte de TI. Su función no es crear una blockchain, sino conectar el ERP de la empresa con la red (ej. Polygon) mediante APIs.

- **Responsabilidades:** Desarrollo de scripts de conexión (Web3.js), configuración de nodos RPC y mantenimiento de APIs.

- **Fuente:.**

7.4.2. Gestor de Identidad y Activos Digitales

Perfil administrativo/operativo. Es el custodio de la seguridad transaccional de la empresa.

- **Responsabilidades:** Gestión de *Wallets* corporativas, custodia de llaves privadas (Private Keys), firma digital de documentos y respaldo de seguridad.

7.4.3. Analista de Procesos y Auditoría Tecnológica

Perfil estratégico/financiero. Puente entre la necesidad del negocio y la tecnología.

- **Responsabilidades:** Identificar qué facturas o contratos se automatizan, auditar la inmutabilidad de los registros en el explorador de bloques y validar la ejecución de *Smart Contracts*.

El plan se divide en niveles para optimizar el presupuesto limitado de las PYMES (3-5% de ingresos)

Tabla 16

Roles clave para la adopción de tecnologías blockchain en pequeñas y medianas empresas colombianas

Nivel	Módulo de Formación	de	Dirigido a	Duración	Contenido Clave
Básico (Cultura)	"Blockchain para Negocios: Transparencia y Eficiencia"	para	Todo personal	el 10 Horas	- Conceptos: Inmutabilidad y Descentralización.

						- Uso de Billeteras Digitales.
						- Seguridad básica (Phishing).
Técnico (Integración)	"Desarrollo de Integraciones Web3 y APIs"	de Arquitecto de Integración	de 60 Horas			- Conexión ERP Blockchain.
						- Librerías Web3.js / Ethers.js.
						- Despliegue en redes de prueba (Testnets).
Operativo (Gestión)	"Gobernanza de Datos y Contratos Inteligentes"	de Gestor de Identidad / Auditor	de 40 Horas			- Lectura de Etherscan/PolygonScan.
						- Auditoría de transacciones.
						- Manejo seguro de llaves (KMS).

Nota. Los roles presentados fueron identificados a partir del análisis del diagnóstico de madurez digital y de la revisión de literatura especializada sobre implementación tecnológica en PYMES, y se orientan a reducir la brecha de habilidades (skills gap) detectada en la dimensión de talento humano.

Considerando que el costo de implementación de soluciones llave en mano es una barrera alta (\$45M COP), el plan de formación busca reducir la dependencia de consultores externos costosos. (se presenta un presupuesto estimado para un equipo piloto de 3 personas)

Tabla 17

Presupuesto estimado del plan de formación en blockchain para un equipo piloto en PYMES

Concepto	Costo Unitario Est. (COP)	Cantidad	Total (COP)	Justificación
Cursos Especializados (Platzi/Udemy/Coursera)	MOOC \$600.000 (Suscripción anual)	3	\$1.800.000	Formación asincrónica económica para nivelación básica.
Certificación Blockchain (Bootcamp intensivo)	Técnica \$3.500.000 (Bootcamp)	1 (Integrador)	\$3.500.000	Capacitación profunda para el encargado de conectar el ERP ¹⁰ .
Taller Práctico de Seguridad (Ciberseguridad aplicada)	\$1.200.000	2 (Gestores)	\$2.400.000	Mitigación de riesgos de pérdida de llaves (Riesgo IMD Ciberseguridad 2.0) ¹¹ .
Horas Hombre Oportunidad	(Costo Promedio) \$30.000/h	110 horas	\$3.300.000	Tiempo laboral dedicado a la formación.
TOTAL INVERSIÓN			**\$11.000.000**	~25% del costo de implementación tradicional (\$45M).

Para medir el retorno de la capacitación y el avance en la madurez digital (Meta: Pasar de IMD 2.06 a 3.0), se establecen los siguientes indicadores:

7.4.3.1.KPI 1: Tasa de Certificación del Equipo Núcleo.

Mide la capacidad técnica adquirida.

$$\text{tasa de certificación} = \frac{\text{Colaboradores con certificación Web3/Blockchai}}{\text{Total equipo del proyecto}} \times 100$$

- **Meta:** 100% del equipo piloto en 6 meses.

7.4.3.2.KPI 2: Autonomía en Integración (Reducción de Dependencia)

Mide la eficacia del perfil "Arquitecto de Integración".

- **Métrica:** Número de procesos (facturas/nómina) integrados a la blockchain sin soporte de proveedor externo.
- **Meta:** Al menos 1 proceso crítico (ej. Trazabilidad de Compras) en el primer año¹²¹².

7.4.3.3.KPI 3: Adopción y Uso Seguro

Mide la eficacia del perfil "Gestor de Identidad".

- **Métrica:** Número de incidentes de seguridad (pérdida de accesos o errores de transacción).
- **Meta:** 0 incidentes críticos. (Fundamental dado el riesgo de inmutabilidad: los errores no se pueden borrar) ¹³.

7.4.3.4.KPI 4: Impacto en Auditoría

Mide la eficacia del perfil "Auditor Tecnológico".

- **Métrica:** % de reducción en tiempo de auditoría interna gracias a la verificación en cadena.
- **Meta:** Alcanzar el rango de 60-75% de reducción validado en la literatura¹⁴¹⁴¹⁴¹⁴.

Este plan asegura que la PYMES no solo adquiera tecnología, sino que desarrolle la **capacidad de absorción** necesaria para sostenerla, abordando directamente la barrera del "desconocimiento técnico" (68%) identificada en la Fase 1.

7.5. Síntesis de hallazgos y valor para la toma de decisiones gerenciales

La integración de los resultados obtenidos en las fases de diagnóstico, evaluación técnica y análisis económico permite establecer tres premisas fundamentales para la toma de decisiones en la gerencia de las PYMES colombianas:

1. **Cambio de Paradigma de Inversión (CAPEX a OPEX):** Se demostró que la barrera financiera de entrada, tradicionalmente estimada en \$45 millones de pesos, es una variable dependiente de la arquitectura seleccionada. Al optar por modelos de *Blockchain-as-a-Service* sobre redes de Capa 2 (Polygon), la decisión gerencial deja de ser una inversión de capital de alto riesgo para convertirse en un costo operativo variable y marginal, viable incluso para presupuestos limitados.
2. **La Madurez Digital como Prerrequisito No Bloqueante:** Contrario a la percepción común, un Índice de Madurez Digital bajo (2.06) no impide la adopción,

siempre que se eviten soluciones "nativas" que requieran infraestructura propia. La simulación confirma que la integración vía API permite a las organizaciones con digitalización básica acceder a beneficios de alta tecnología.

3. **Valor Estratégico sobre Valor Tecnológico:** Los casos de uso validados indican que el retorno real para una PYME no reside en la tenencia de la tecnología *per se* o en la especulación con criptoactivos, sino en la **eficiencia administrativa tangible**: reducción de tiempos de auditoría y eliminación de reprocesos por validación de proveedores

8. Síntesis de resultados para dar respuesta a la pregunta de investigación

A continuación, se presentan los puntos estratégicos de análisis que permitieron dar respuesta a la pregunta de investigación planteada, a partir de la integración de los resultados obtenidos en las diferentes fases del estudio. Estos puntos recogen los hallazgos más relevantes relacionados con el aporte potencial de la tecnología blockchain a la gestión administrativa y financiera de las PYMES colombianas, así como los factores críticos que condicionan su implementación exitosa. La exposición se estructura de manera analítica y progresiva, con el fin de evidenciar cómo la triangulación de la evidencia empírica y teórica permitió construir una respuesta fundamentada, clara y coherente a la problemática investigada.

8.1.Respuesta a la Pregunta de Investigación

La presente investigación da respuesta a la pregunta planteada: "¿Cómo puede la tecnología blockchain contribuir a la mejora de la gestión administrativa y financiera en PYMES

colombianas, y cuáles son los factores críticos para su implementación exitosa?" se responde mediante la síntesis de hallazgos de las cuatro fases desarrolladas:

Tabla 18

Síntesis por componentes y fases metodológicas de la respuesta a la pregunta de investigación

Componente	Fase metodológica	Dimensión de análisis	Aspecto evaluado	Evidencia Hallazgo principal	Impacto / Estrategia asociada
Componente 1: Contribución de blockchain	Fase 1	Gestión administrativa y financiera	Trazabilidad inmutable	Reducción del 60–75 % en tiempos de auditoría	Registros inalterables que fortalecen la transparencia
	Fase 1	Gestión administrativa y financiera	Automatización de procesos	Reducción del 30–45 % en costos transaccionales	Contratos inteligentes
	Fase 1	Control contable	Monitoreo en tiempo real	Disminución del 38 % en errores contables	Mejora del control financiero
	Fase 1	Gestión de compras	Visibilidad en procurement	Incremento del 28 % en eficiencia de pagos	Seguimiento y trazabilidad de pagos
	Fase 1	Integración tecnológica	Interoperabilidad con sistemas legacy	Integración sin migración total	Arquitectura SaaS
	Fase 1	Mecanismos tecnológicos	Inmutabilidad	Impide alteración retroactiva	Integridad de la información
	Fase 1	Mecanismos tecnológicos	Descentralización	Eliminación de intermediarios	Reducción de costos operativos
	Fase 1	Mecanismos tecnológicos	Contratos inteligentes	Automatización de flujos repetitivos	Eficiencia operativa
Componente	Fase metodológica	Dimensión de análisis	Aspecto evaluado	Evidencia Hallazgo principal	Impacto / Estrategia asociada
Componente 2: Factores críticos de implementación	Fase 2	Técnicos	Madurez digital insuficiente	IMD promedio 2.06	Implementación mediante SaaS
	Fase 2	Técnicos	Ausencia de infraestructura cloud	88 % sin cloud	Blockchain as a Service

	Fase 2	Técnicos	Incompatibilidad legacy	78 % reportan incompatibilidad	Middleware con APIs REST
	Fase 3	Humanos	Escasez de talento	89 % requieren capacitación	Formación + perfiles especializados
	Fase 3	Humanos	Resistencia cultural	67 % presentan resistencia	Gestión del cambio gradual
	Fase 3	Económicos	Limitación presupuestaria	\$10M vs \$80M–\$120M requeridos	Pago por uso SaaS
	Fase 3	Económicos	Incertidumbre regulatoria	Vacíos normativos (DIAN)	Monitoreo normativo y contingencias
Componente 3: Síntesis y viabilidad	Integración Fases 1–3	Resultados globales	Contribución general	Automatización de procesos manuales	Reducción 30–45 % costos, 60–75 % auditorías
	Integración Fases 1–3	Condiciones de éxito	Factores críticos identificados	Siete factores condicionantes	Implementación selectiva
	Integración Fases 1–3	Viabilidad organizacional	Perfil de PYMES viables	IMD > 2.0 y facturación > \$800M	Implementación con arquitectura SaaS
	Integración Fases 1–3	Alcance del estudio	Segmento beneficiado	15–20 % de PYMES	Madurez digital adecuada
	Integración Fases 1–3	Limitación estructural	Baja madurez digital	IMD < 2.0	Blockchain no viable para 80–85 %

Los resultados obtenidos a lo largo de las diferentes fases del estudio permiten construir una respuesta integrada a la pregunta de investigación, evidenciando que la tecnología blockchain puede aportar de manera significativa a la gestión administrativa y financiera de las PYMES colombianas, siempre que su implementación se realice bajo condiciones organizacionales y técnicas específicas.

A partir de los hallazgos de la revisión sistemática de literatura (Fase 1), se identificó que los principales aportes de blockchain se concentran en el fortalecimiento de la trazabilidad de la información, la automatización de procesos administrativos y la mejora de los mecanismos de

control contable. Diversos autores señalan que el uso de registros distribuidos e inmutables reduce la dependencia de procesos manuales de verificación, disminuye la probabilidad de errores y facilita las labores de auditoría (Yermack, 2017; Xu et al., 2019). Estos aportes se reflejan en los resultados sintetizados en la Tabla 18, donde se evidencian reducciones sustanciales en los tiempos de auditoría y en los errores asociados a los procesos contables.

De manera complementaria, la automatización de flujos administrativos mediante contratos inteligentes emerge como un mecanismo relevante para la mejora de la eficiencia operativa. Estudios previos destacan que este tipo de automatización permite reducir costos transaccionales y tiempos de procesamiento, aspectos críticos para las PYMES, dadas sus limitaciones estructurales y administrativas (Kshetri, 2018; Saberi et al., 2019). En concordancia con lo anterior, los resultados del estudio muestran reducciones potenciales en costos operativos y mejoras en procesos como pagos y gestión de compras.

Sin embargo, el análisis desarrollado en la Fase 2 pone en evidencia que la adopción de blockchain en el contexto colombiano se encuentra condicionada por el nivel de madurez digital de las PYMES. El bajo nivel de digitalización identificado, reflejado en un Índice de Madurez Digital promedio de 2.06, sugiere limitaciones en infraestructura tecnológica, adopción de servicios en la nube e interoperabilidad con sistemas existentes. Investigaciones sobre transformación digital advierten que estos niveles iniciales de madurez restringen la capacidad de las organizaciones para adoptar tecnologías complejas sin generar sobrecostos o riesgos operativos adicionales (Kane et al., 2015; Vial, 2019).

En este escenario, los resultados indican que la adopción de blockchain resulta más viable cuando se implementa mediante modelos basados en servicios, como *Blockchain as a Service* (BaaS) o arquitecturas SaaS, que permiten reducir las barreras de entrada asociadas a inversión

inicial y capacidades técnicas especializadas. Esta aproximación coincide con lo planteado por Hughes et al. (2019), quienes señalan que los modelos bajo demanda facilitan la adopción tecnológica en organizaciones con restricciones presupuestarias y capacidades técnicas limitadas.

Por otra parte, los hallazgos de la Fase 3 evidencian que los factores humanos y económicos desempeñan un papel determinante en la implementación de blockchain. La escasez de talento digital, la resistencia organizacional al cambio y las limitaciones presupuestarias aparecen como barreras recurrentes, lo que refuerza la necesidad de acompañar la adopción tecnológica con procesos de gestión del cambio y planes de formación específicos. Tal como lo señalan Westerman et al. (2014), la transformación digital efectiva depende en gran medida de la alineación entre tecnología, personas y estrategia organizacional.

En conjunto, la integración de los resultados de las tres fases permite concluir que la adopción de blockchain en PYMES colombianas es selectiva y no generalizable. El estudio identifica que únicamente un segmento reducido de empresas, caracterizado por niveles mínimos de madurez digital y capacidades organizacionales básicas, se encuentra en condiciones de implementar esta tecnología de manera efectiva en el corto plazo. Para el resto del tejido empresarial, la adopción de blockchain requeriría procesos previos de fortalecimiento digital, sin los cuales su implementación no resultaría viable ni sostenible.

9. Discusión

Más allá de la validación técnica, los hallazgos plantean una evolución en los modelos clásicos de gestión y control interno. Desde la perspectiva de la Ingeniería Industrial, la incorporación de la inmutabilidad *blockchain* transforma el enfoque de control de calidad

administrativo: se transita de un modelo de "auditoría posterior" (detectiva) a uno de "auditoría continua y preventiva" garantizada por *Smart Contracts*. Esto mitiga el riesgo de agencia inherente a la administración de PYMES, donde la asimetría de información entre propietarios y administradores suele generar ineficiencias y fugas de recursos. La tecnología, en este contexto, actúa como un mecanismo de gobierno corporativo automatizado que asegura el cumplimiento de reglas de negocio sin intervención humana, reduciendo los desperdicios (*muda*) asociados a la burocracia de verificación manual.

Los resultados obtenidos confirman que la tecnología blockchain tiene un potencial significativo para transformar la gestión administrativa y financiera en las PYMES colombianas, aunque su adopción enfrenta múltiples barreras técnicas, organizacionales y regulatorias. La revisión de literatura evidenció que, a nivel internacional, las aplicaciones maduras de blockchain en sectores financieros pueden ser un referente para el desarrollo local, aunque se requiere adaptar estas experiencias al contexto particular de Colombia, marcado por una baja madurez digital en la mayoría de las PYMES y una marcada resistencia cultural al cambio tecnológico. Los beneficios demostrados en términos de reducción de errores administrativos, ahorro en costos operativos y mejor cumplimiento normativo contrastan con los desafíos de infraestructura, escasez de talento especializado y falta de regulación clara, que limitan la escalabilidad de estas soluciones.

Al contrastar los resultados de esta investigación con experiencias documentadas en el país, se observan matices importantes. Mientras que el caso del sector cafetero colombiano reportado por Castro y Henao (2022) evidencia que el valor de *blockchain* se reflejó en un aumento del precio de venta por diferenciación, nuestro análisis para PYMES de gestión administrativa y financiera sugiere que el valor principal reside en la estructura de costos

(eficiencia operativa) más que en el ingreso. Asimismo, aunque la literatura internacional sugiere tiempos de implementación de 18 meses para ver retornos (Wang et al., 2024), la simulación adaptada al costo de mano de obra y estructura colombiana indica que el punto de equilibrio puede alcanzarse desde el sexto mes si se utiliza una arquitectura ligera (L2), lo que sugiere que las soluciones ágiles son más compatibles con la volatilidad del mercado local que las grandes implementaciones corporativas observadas en el sector bancario nacional

La evaluación de viabilidad técnica y económica destacó importantes brechas en conectividad, integración de sistemas y disponibilidad de profesionales capacitados, lo que subraya la necesidad de un enfoque gradual y apoyado por programas gubernamentales para incentivar la adopción. Además, se evidenció que la flexibilidad organizacional y el respaldo institucional son fortalezas que pueden ser aprovechadas para diseñar estrategias efectivas, mientras que la incertidumbre regulatoria y la volatilidad tecnológica constituyen amenazas que deben mitigarse mediante políticas públicas y marcos normativos. Los casos de uso propuestos muestran un impacto positivo medible en eficiencia y transparencia, validando la hipótesis inicial del estudio sobre los beneficios de blockchain en la gestión empresarial.

Finalmente, la propuesta de una guía práctica orientada a PYMES representa una contribución tangible para facilitar la implementación exitosa, considerando niveles de madurez digital y factores culturales. Esta guía, junto con indicadores de seguimiento claros, permitirá un monitoreo constante y ajustes que aseguren el retorno de la inversión y la sostenibilidad organizacional.

Conclusiones

La tecnología blockchain ofrece ventajas competitivas claras para la gestión administrativa y financiera en PYMES colombianas, al mejorar la transparencia, seguridad y eficiencia operativa mediante automatización y trazabilidad inmutable.

La limitación crítica de infraestructura tecnológica en las PYMES colombianas, caracterizada por una predominancia del 88% en servidores locales y una baja adopción de servicios en la nube, esta investigación evaluó comparativamente arquitecturas de redes privadas frente a redes públicas de segunda capa. Se concluye que la viabilidad técnica no reside en la creación de nodos propios, lo cual sería insostenible, sino en la adopción de modelos híbridos (*Sidechains* como Polygon). Este hallazgo desvirtúa la necesidad de grandes centros de datos propios, demostrando que la interoperabilidad mediante APIs ligeras es el único camino técnico sostenible para organizaciones con madurez digital incipiente.

Considerando la alta sensibilidad al costo de las PYMES nacionales y tras someter a análisis los modelos de inversión tradicionales (CAPEX) frente a modelos operativos (OPEX), se determinó que la implementación de blockchain es financieramente viable si se transforma en un servicio bajo demanda. El hallazgo estratégico revela que la tecnología permite reducir los costos de auditoría interna entre un 60% y 75%, transformando áreas administrativas tradicionalmente consideradas centros de gasto en sistemas eficientes automatizados. Esto confirma que *blockchain* actúa como una herramienta de competitividad en costos y no solo como un diferenciador tecnológico.

Frente a la escasez de literatura que aborde la implementación práctica de tecnologías de registro distribuido (DLT) en empresas de recursos limitados, y respondiendo a la barrera del 68% en falta de conocimiento especializado, este trabajo aporta el diseño de una guía de adopción modular basada en roles. Se concluye que la brecha de talento humano (calificada en 1.8/5) puede

mitigarse eficazmente mediante estrategias de *reskilling* (recualificación) de perfiles actuales (contadores e ingenieros de sistemas), sin necesidad de contratar nuevos perfiles "nicho" de alto costo. Este aporte metodológico democratiza el acceso a la tecnología, validando que el obstáculo principal es organizativo y de formación, más que de disponibilidad de talento en el mercado

Recomendaciones

partir de los hallazgos del estudio, se formulan las siguientes recomendaciones segmentadas por actor y horizonte temporal:

Para las PYMES (Corto y Mediano Plazo):

- **Diagnóstico de Prerrequisitos:** Antes de cualquier inversión en *blockchain*, se recomienda priorizar la migración de sistemas contables locales (*on-premise*) a soluciones en la nube. El hallazgo de un Índice de Madurez Digital de 2.06 indica que sin esta base de conectividad, la integración con redes descentralizadas es técnicamente inviable.
- **Adopción Incremental:** Implementar la "Guía Práctica de Adopción" iniciando exclusivamente con el módulo de **Certificación Documental** (Caso de Uso 1). Esto permite validar el retorno de inversión con bajo riesgo antes de avanzar a la automatización de pagos o nómina, mitigando la resistencia al cambio cultural detectada.

Para Entidades Gubernamentales y Reguladores (Mediano Plazo):

- **Creación de Sandboxes Administrativos:** Se recomienda al MinTIC y a la Superfinanciera habilitar espacios de prueba (*Sandboxes*) específicos para aplicaciones de

gestión documental y certificación que no impliquen captación financiera. Esto responde directamente a la barrera de incertidumbre regulatoria y tributaria, ofreciendo un marco seguro para que las empresas innoven sin riesgo de sanciones fiscales.

Para la Academia y Grupos de Investigación (Largo Plazo):

- **Actualización Curricular Interdisciplinaria:** En respuesta a la crítica brecha de talento (1.8/5) y la necesidad de perfiles híbridos, se recomienda a las facultades de Ingeniería Industrial y Contaduría integrar competencias de "Auditoría de Algoritmos" y "Gestión de Activos Digitales". Es necesario formar profesionales capaces de auditar la lógica de un contrato inteligente, trascendiendo la formación tradicional de auditoría financiera manual.

Referencias Bibliográficas

- Arias Torres, M. P. (2018). Tecnología blockchain: implicaciones para la contabilidad y seguridad de la información [Trabajo de grado, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio Institucional UMNG. <https://repository.umng.edu.co/bitstreams/d3615783-e021-4f48-8abc-8e25aa4f7604/download>
- Bancoldex. (2023). Financiamiento para adopción tecnológica en PYMES. <https://www.bancoldex.com>
- Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17(1), 99-120. <https://doi.org/10.1177/014920639101700108>
- Benítez-Arrieta, D. A., & Cantillo-Velásquez, I. M. (2025). Estrategias para facilitar la implementación de blockchain en la cadena de suministro de PYMES en Colombia. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 15(1). https://revistas.uptc.edu.co/index.php/investigacion_duitama/article/view/19187
- Bowen, G. A. (2009). Document analysis as a qualitative research method. *Qualitative Research Journal*, 9(2), 27-40.
- Buterin, V. (2014). Ethereum: A next-generation smart contract and decentralized application platform [White paper]. Ethereum Foundation. <https://ethereum.org/en/whitepaper/>
- Buterin, V. (2023). The importance of Layer 2 solutions for mass adoption in resource-limited sectors. Ethereum Foundation.

- Cámara de Comercio de Bogotá. (2023). Informe de Competitividad de las PYMES en Bogotá-Región 2023. CCB, Bogotá.
- Casino, F., Dasaklis, T. K., & Patsakis, C. (2019). A systematic literature review of blockchain-based applications: Current status, classification and open issues. *Telematics and Informatics*, 36, 55-81. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2018.11.006>
- Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2023). Índice de madurez de la transformación digital 2023. <https://cintel.co/estudio/indice-de-madurez-de-la-transformacion-digital-2023/>
- Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2023). Informe de madurez digital de las MIPYMES en Colombia. CINTEL.
- Centro Nacional de Consultoría. (2024). Informe de transformación digital en PYMES Colombia. <https://www.centronacionaldeconsultoria.com>
- CINTEL. (2023). Índice de Innovación Digital 2023. Centro de Investigación y Desarrollo en TIC, Bogotá. ISBN: 978-958-52689-3-2.
- CINTEL. (2023). Índice de Innovación Digital: Diagnóstico de madurez tecnológica en empresas colombianas. Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Bogotá.
- Confecámaras. (2023). Dinámica de creación de empresas: Informe 2023. <https://confecamaras.org.co/images/Informe-Dinamica-de-creacion-de-empresas-2023.pdf>

Confecámaras. (2024). Informe de dinámica empresarial y digitalización en PYMES.
<https://confecamaras.org.co>

DANE. (2023). Gran Encuesta Integrada de Hogares - Mercado laboral. Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319-340. <https://doi.org/10.2307/249008>

Denzin, N. K. (1978). *The research act: A theoretical introduction to sociological methods* (2nd ed.). McGraw-Hill.

Deloitte. (2018). Estudio sobre adopción de tecnologías blockchain en empresas. Deloitte Insights.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2023). Encuesta de tecnologías de la información y las comunicaciones en empresas. <https://www.dane.gov.co>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2024). Portal y boletines estadísticos. <https://www.dane.gov.co/>

Financial News London. (2024). Reportes y análisis sobre banca digital. Financial News Media.

Flick, U. (2018). Triangulation in data collection. In *The SAGE Handbook of Qualitative Data Collection* (pp. 527-544).

Foro Económico Mundial. (2020). *The Future of Jobs Report 2020*. World Economic Forum.

García-Valdecasas Rodríguez de Rivera, J. (2022). *Estudios sobre trazabilidad y seguridad en blockchain*. Editorial Académica.

IBM. (2024). What is Hyperledger Fabric? IBM Think.
<https://www.ibm.com/think/topics/hyperledger>

IMD World Competitiveness Center. (2024). World digital competitiveness ranking 2024.
<https://www.imd.org/centers/wcc/world-digital-competitiveness-ranking/>

Janus Henderson. (2024). Reportes sobre tokenización de activos. Janus Henderson Investors.

Kanaparthi, V. (2024). Innovaciones en automatización y blockchain. Journal of Emerging Technologies in Business.

Kane, G. C., Palmer, D., Phillips, A. N., Kiron, D., & Buckley, N. (2015). Strategy, not technology, drives digital transformation. MIT Sloan Management Review, 14, 1-25.

Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering (Version 2.3). EBSE Technical Report EBSE-2007-01.

McKinsey & Company. (2023). Análisis sectorial y proyecciones de competitividad empresarial. McKinsey Global Institute.

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2019). Guía para la adopción de blockchain en el Estado colombiano. MinTIC.

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2023). Estudio de adopción de tecnologías emergentes en el sector productivo colombiano. MinTIC.

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2024). Estrategia Potencia Digital y apoyo a PYMES. <https://www.mintic.gov.co/portal/715/w3-article-399426.html>

- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2025). Guía de referencia de blockchain. Gobierno Digital. https://gobiernodigital.mintic.gov.co/692/articles-161810_pdf.pdf
- MinTIC. (2021). Plan Nacional de Desarrollo Digital. Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Colombia.
- MinTIC. (2023). Informe de Gestión 2023: Avances en Transformación Digital. Ministerio TIC, Colombia.
- Mojica, L., Cuéllar, A., & Medina, D. (2018). Blockchain innovación como ventaja competitiva en Colombia [Trabajo de grado, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio Institucional UCC. <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/f26c5e5d-c92d-4356-9144-d1e96a0a323f/content>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71.
- Pérez, J., & Vargas, M. (2022). Adopción de blockchain en contabilidad de PYMES bogotanas: estudio exploratorio. *Revista Colombiana de Contabilidad*, 10(19), 45-67.
- Petersen, K., Vakkalanka, S., & Kuzniarz, L. (2015). Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update. *Information and Software Technology*, 64, 1-18.
- Prior, L. (2003). *Using documents in social research*. SAGE Publications Ltd.
- Procolombia. (2025). Estrategias para innovación y competitividad en PYMES. <https://procolombia.co>

- PwC. (2022). Informe sobre confianza y transparencia en procesos financieros. PwC Global.
- Rashid, A., Khan, S., Ahmed, M., & Rahman, T. (2022). Evaluación de viabilidad técnica y económica de blockchain en empresas. *Journal of Emerging Technologies*, 15(3), 145-162.
- Reuters. (2024, noviembre 7). UBS successfully pilots blockchain-based multi-currency payment solution with UBS Digital Cash. <https://www.ubs.com/global/en/media/display-page-ndp/en-20241107-ubs-digital-cash.html>
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations* (5.^a ed.). Free Press.
- Samaniego, M. (2018). Blockchain para la gestión eficiente en PYMES. *Revista Latinoamericana de Tecnología Empresarial*, 12(2), 78-95.
- Scott, J. (1990). *A matter of record: Documentary sources in social research*. Polity Press.
- Sherlock Communications. (2024). Blockchain en América Latina: Informe regional. <https://www.sherlockcomms.com/crypto-ecosystem-latam/>
- Tandon, A., Kaur, P., Mäntymäki, M., & Dhir, A. (2021). Blockchain applications in management: A bibliometric analysis and literature review. *Technological Forecasting and Social Change*, 166, Article 120649. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120649>
- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal of Management*, 14(3), 207-222.
- van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523-538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>

- Varon Gómez, J. P. (2024). Análisis del impacto de la tecnología blockchain en procesos operativos de PYMES en Popayán [Trabajo de grado, Universidad Autónoma del Cauca]. Repositorio Institucional Unicomfauca. <https://repositorio.unicomfauca.edu.co/jspui/bitstream/3000/178/1/CP%20260%202024.pdf>
- Vergel Vergel, J. (2019). Aplicación de blockchain en auditoría interna y compliance en PYMES. *Revista Colombiana de Contabilidad y Auditoría*, 7(1), 34-52.
- Verhoef, P. C., Broekhuizen, T., Bart, Y., Bhattacharya, A., Dong, J. Q., Fabian, N., & Haenlein, M. (2021). Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. *Journal of Business Research*, 122, 889-901.
- Vial, G. (2019). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *The Journal of Strategic Information Systems*, 28(2), 118-144. <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2019.01.003>
- Westerman, G., Bonnet, D., & McAfee, A. (2014). *Leading digital: Turning technology into business transformation*. Harvard Business Press.
- Westerman, G., Bonnet, D., & McAfee, A. (2014). *Leading digital: Turning technology into business transformation*. Harvard Business Review Press.
- Xu, X., Weber, I., & Staples, M. (2016). *Architecture for blockchain solutions*. Springer.
- Zambrano, P., García, L., & Martínez, C. (2023). Competencias digitales en PYMES colombianas. *Revista de Gestión Tecnológica*, 18(4), 112-128.

Zheng, Z., Xie, S., Dai, H. N., Chen, X., & Wang, H. (2018). Blockchain challenges and opportunities: A survey. *International Journal of Web and Grid Services*, 14(4), 352-375.