

**UNIVERSIDAD EAN**

**SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN –  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE PROYECTOS Y MACHINE LEARNING**

**BLOCKCHAIN: RETOS Y OPORTUNIDADES PARA LA ADOPCIÓN  
TECNOLÓGICA EN EL SECTOR FINANCIERO COLOMBIANO**

**CRISTIAN DAVID GUTIÉRREZ**

**IBEL XIMENA AVENDAÑO ARANGO**

**DANIEL CAMILO CORREDOR LÓPEZ**

**DANIELA HERRERA VELANDIA**

**BOGOTÁ**

**OCTUBRE 2025**

## Tabla de contenido

Resumen:.....	3
Contexto .....	3
Enfoque Colombiano. ....	6
Planteamiento del Problema .....	8
Descripción del problema .....	9
Pregunta de Investigación.....	9
Objetivos.....	10
Conveniencia de la Investigación .....	10
Justificación .....	11
Marco Teórico.....	12
Obstáculos o limitaciones.....	27
Interpretación de los hallazgos .....	27
Monedas Digitales de Bancos Centrales (CBDC): la evolución clave del blockchain en el sistema financiero .....	30
Contratos inteligentes: automatización y transparencia en el ecosistema blockchain financiero .....	33
Factores de fracaso y errores comunes en la implementación de proyectos basados en blockchain.....	36
Conclusiones .....	42
Referencias .....	43

## Resumen:

La adopción de la tecnología *blockchain* ha sido abordada por diversos autores (Martínez & Pinto, 2024). Sin embargo, en el sector financiero enfrenta barreras técnicas, regulatorias y culturales que limitan su aplicación en procesos críticos relacionados con la seguridad y la protección de datos. Este estudio tiene como objetivo elaborar una guía técnica que identifique las principales barreras y oportunidades, evalúe el potencial de la *blockchain* en la construcción de confianza digital y proponga lineamientos para su implementación. El análisis se sustenta en referentes nacionales e internacionales, así como en los aportes de entidades públicas del sector financiero colombiano.

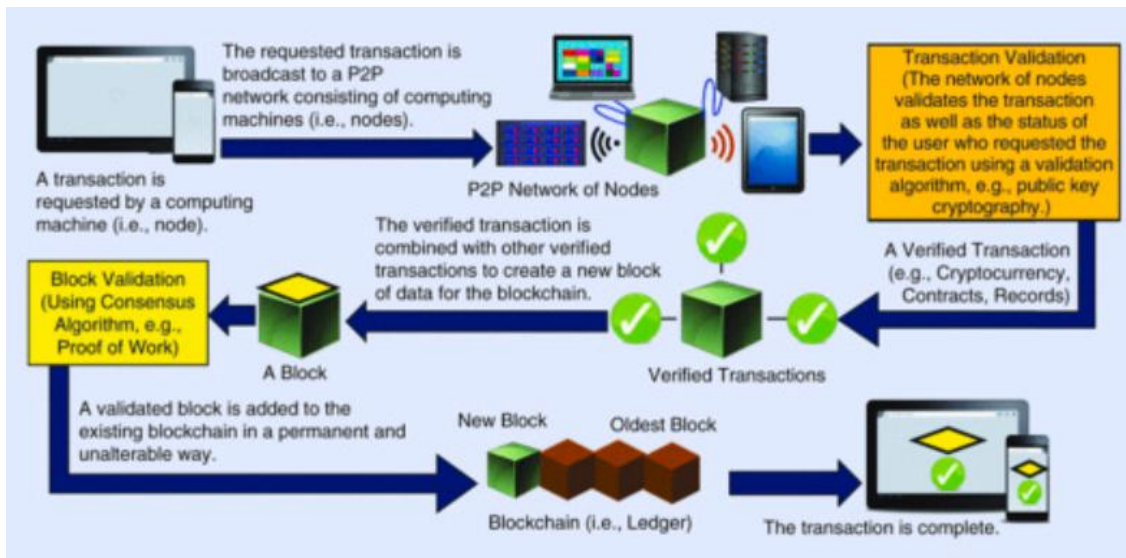
**Palabras clave:** *Blockchain, Contratos Inteligentes, Seguridad Digital, Sector Financiero, Protección de Datos, Colombia.*

## Contexto

El *blockchain* surgió en 2008 como una propuesta de Satoshi Nakamoto, en un contexto en el que la economía global se deterioraba, la confianza crediticia se debilitaba y la crisis hipotecaria afectaba al mercado estadounidense, extendiéndose posteriormente a otros países. La propuesta de Nakamoto buscaba reemplazar el modelo centralizado por uno descentralizado, en el cual el poder de decisión sobre el sistema se delega directamente a los usuarios de la cadena.

Para comprender mejor el concepto de descentralización, es importante señalar que la tecnología *blockchain* se fundamenta en una red descentralizada de nodos, lo que implica que no existe una autoridad ni una entidad controladora central. Esta estructura protege la red frente a ataques y fallos, al tiempo que incrementa la transparencia y la confianza entre los participantes. De este modo, las organizaciones pueden desarrollar sistemas más seguros y robustos, menos vulnerables a errores o ciberataques, al distribuir el control y la toma de decisiones entre varios nodos (Saleh, 2024).

Figura 1. Proporción de una descripción general de este proceso



**Fuente:** Adaptado de “Blockchain para una inteligencia artificial segura y descentralizada en ciberseguridad: una revisión exhaustiva”, *Blockchain: Investigación y aplicaciones, Volumen 5, Número 3, septiembre de 2024, p. 100193.*

Las técnicas basadas en *blockchain* se han independizado y evolucionado más allá de *Bitcoin*, siendo aplicables a numerosos campos que trascienden el ámbito de la moneda, las finanzas y los mercados. Se considera una innovación técnica y económica, especialmente en sectores como el gobierno, la salud, la ciencia, la educación, la cultura y el arte, convirtiéndose en un factor clave para resolver problemas de escalabilidad, privacidad y fiabilidad directamente relacionados con el paradigma del *Internet of Things (IoT)* (Triana Casallas, 2020).

Con la tecnología *blockchain*, cada acción o transacción se registra de manera permanente y auditable, lo que elimina la posibilidad de manipular documentos o expedientes. Para abordar dichos desafíos, surgió la figura de los contratos inteligentes, los cuales funcionan como acuerdos automáticos, verificables y transparentes mediante lógica programable. Sus cláusulas son vinculantes, inmutables y automáticas, lo que evita la necesidad de intermediarios y reduce los riesgos de corrupción o discrecionalidad en la toma de decisiones.

A diferencia de los contratos tradicionales redactados en lenguaje jurídico, los contratos inteligentes (*smart contracts*) son programas informáticos almacenados en una *blockchain* que se ejecutan automáticamente cuando se cumplen las condiciones predefinidas, sin intervención humana.

Su origen antecede a la *blockchain*: fue el criptógrafo Nick Szabo (1994) quien acuñó el término, definiéndolo como un protocolo capaz de ejecutar los términos de un contrato sin necesidad de intermediarios confiables. Gracias a la tecnología *blockchain*, estos contratos heredan sus principales ventajas: anonimato y seguridad, descentralización, transparencia y verificabilidad.

Diversos autores destacan que esta tecnología podría automatizar procesos de contratación pública, reducir costos y limitar la discrecionalidad en la toma de decisiones gubernamentales, abriendo el camino hacia una administración más eficiente y menos propensa a la corrupción (Saleh, 2024).

En la actualidad, varios países han desarrollado proyectos basados en la tecnología *blockchain*:

- **BitNation**: una “nación digital descentralizada” basada en *Ethereum*, que ofrece servicios de identidad, reputación, seguros y registro de documentos —como certificados de nacimiento—, todo gestionado mediante contratos inteligentes.
- **D-CENT (Europa)**: proyecto financiado por la Unión Europea que busca desarrollar tecnologías de participación ciudadana con propiedad pública, gestionando grandes volúmenes de datos (*Big Data*) mediante *blockchain*, y garantizando la privacidad y la gobernanza democrática.
- **DECODE**: iniciativa impulsada por las ciudades de Barcelona y Ámsterdam, centrada en permitir que los ciudadanos controlen sus propios datos en entornos de transparencia y automatización. Promueve el uso de *blockchain* para gestionar datos urbanos, identidades digitales y economías colaborativas.

- Registro de propiedades: varios países —entre ellos Alemania, Dubái, Corea del Sur, Ghana, Reino Unido, Japón, Ucrania y Brasil— están implementando sistemas de registro de propiedades en *blockchain* con el fin de combatir el fraude, la corrupción y la duplicidad de datos catastrales.

Con base en lo anterior, es posible evidenciar que la aplicación de la tecnología *blockchain* se encuentra cada vez más presente en distintos sectores. Se espera un crecimiento sostenido en el desarrollo de nuevos enfoques y aplicaciones, aunque también se reconoce la necesidad de una mayor intervención de los entes gubernamentales para fortalecer los mecanismos de control, la regulación y la estandarización que garanticen su adecuada implementación.

## Enfoque Colombiano.

En Colombia, la tecnología *blockchain* se encuentra en una fase incipiente de desarrollo, especialmente en lo relacionado con su aplicación en sectores distintos al financiero. Diversos factores influyen en la capacidad de las organizaciones para competir en el mercado de soluciones tecnológicas basadas en *blockchain*, entre ellos, el aspecto legal. La falta de una regulación específica genera incertidumbre entre los emprendedores que desean implementar esta tecnología, lo cual, a largo plazo, puede convertirse en un factor desmotivante (Herazo Narváez, 2022).

Si el país logra superar las barreras legales, la *blockchain* podría consolidarse como una herramienta de alto impacto para el desarrollo económico, al ofrecer mayor seguridad, trazabilidad y transparencia en las operaciones tanto públicas como privadas.

**Tabla 1. Principales proyectos basados en *blockchain* desarrollados en Colombia, según el Ministerio TIC y otras fuentes oficiales**

Entidad	Sector	Proyecto	Estado
MinTIC	Electoral	Sistema de votación basado en Blockchain para garantizar transparencia y reducir fraudes.	Piloto

MinTIC + BID + Procuraduría + WEF	Contratación pública	Prototipo anticorrupción para licitaciones estatales.	Piloto
Agencia Nacional de Tierras + UNAL + Colciencias	Catastro	Registro público de tierras con documentos cifrados y trazabilidad.	Piloto
MinTIC + Univ. Francisco José de Caldas	Educación	Emisión de diplomas académicos en Blockchain.	Piloto
Banco de la República	Finanzas	Plataforma Corda DLT para intercambio de valores.	Proyecto
Grupo ISA	Energía	EcoRegistry, EcoGox, y CumbiAPP: trazabilidad de energía y pagos sociales.	Desarrollado
Certika	Servicios	Certificados y credenciales digitales antifraude.	Desarrollado

*Fuente: Desafíos legales para la implementación de Blockchain en Colombia, Procedia Computer Science, 210, 323–327.*

### Conclusiones del análisis:

- El 56 % de los proyectos se encuentran en fase piloto.
- Solo el 33 % se han implementado con éxito, todos ellos en el sector privado.
- Es necesario fortalecer la cooperación público–privada para acelerar la adopción nacional de esta tecnología.

Según el estudio *Deloitte's 2021 Global Blockchain Survey*, las organizaciones financieras públicas, en un alto porcentaje, consideran que podrían perder ventaja competitiva si no actúan oportunamente. Esto sugiere que las entidades del sector financiero colombiano podrían quedar rezagadas si no evalúan e implementan soluciones basadas en *blockchain*.

Asimismo, la expectativa de que el dinero físico sea reemplazado en un plazo de entre cinco y diez años resalta la necesidad de que las finanzas públicas se preparen para entornos emergentes en los cuales la trazabilidad, la automatización y la transparencia adquieran una relevancia cada vez mayor.

## Planteamiento del Problema

La tecnología *blockchain* ha evolucionado en la última década como un pilar de la transformación digital, siendo reconocida por su capacidad de ofrecer seguridad, transparencia y trazabilidad en el manejo de la información y en el procesamiento de transacciones. Inicialmente asociada al sector financiero global, la *blockchain* ha trascendido hacia sectores como la salud, la energía, las cadenas de suministro y la administración pública (Saberri et al., 2019; Andoni et al., 2019). Su naturaleza descentralizada permite garantizar la confianza en entornos con múltiples actores, donde el riesgo de fraude, corrupción o manipulación de datos es elevado.

En Colombia, el sector público ha liderado diversos esfuerzos exploratorios para aprovechar esta tecnología. El Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC) desarrolló, en 2020, un documento de referencia para guiar la adopción de proyectos de *blockchain* en el Estado, resaltando beneficios como la mejora en la trazabilidad, la reducción de intermediarios y el fortalecimiento de la confianza ciudadana (MinTIC, 2020). Paralelamente, durante la pandemia, se implementaron casos de uso en la cadena de suministro de medicamentos esenciales, lo que permitió evidenciar la utilidad de la *blockchain* para garantizar eficiencia y transparencia en sectores críticos (Ramírez López et al., 2022).

Sin embargo, la literatura muestra que la adopción de *blockchain* no está exenta de limitaciones. Estudios internacionales advierten que los altos costos de implementación, la resistencia cultural, la falta de estandarización y la complejidad técnica siguen siendo barreras significativas (Herazo Narváez et al., 2022; Bager et al., 2022). Asimismo, autores como Rojas y Langer (2024) señalan que, aunque el entusiasmo inicial por la “revolución *blockchain*” se ha moderado, todavía existen oportunidades de innovación si las organizaciones logran alinear esta tecnología con sus necesidades reales y con marcos regulatorios sólidos.

## Descripción del problema

Pese a los avances, la adopción de *blockchain* en el sector privado colombiano sigue siendo incipiente. A diferencia del sector financiero público, que ha implementado proyectos piloto en gestión documental y trámites digitales, muchas empresas carecen de un marco práctico y metodológico que les permita evaluar la viabilidad de esta tecnología en sus operaciones. Esta situación genera una brecha entre el potencial de la *blockchain* y su implementación real, limitando la optimización de procesos estratégicos, como la protección de datos, la gestión de contratos inteligentes y la seguridad de la información (IBM, 2023).

Dicha brecha se ve acentuada por tres factores principales. Primero, la incertidumbre regulatoria en torno al tratamiento de datos y la validez de los contratos inteligentes, lo que frena la confianza en su aplicación jurídica (Herazo Narváez et al., 2022). Segundo, los costos de implementación y la falta de personal especializado, que dificultan la integración de *blockchain* en pequeñas y medianas empresas. Y tercero, la ausencia de lineamientos claros basados en casos reales colombianos, lo que obliga a las organizaciones a improvisar estrategias con un alto riesgo de ineficiencia o fracaso.

De no atenderse estos desafíos, existe el riesgo de que la incorporación de *blockchain* ocurra de manera fragmentada, sin generar los beneficios estratégicos de competitividad y resiliencia digital que se esperan. Además, como advierte la literatura internacional, la tecnología no constituye una “solución mágica”: su éxito depende de factores contextuales, como el ecosistema regulatorio, el compromiso organizacional y la articulación con otras tecnologías digitales (Bager et al., 2022).

## Pregunta de Investigación

En este contexto, surge la necesidad de orientar la investigación hacia la siguiente pregunta: ¿Cómo pueden las empresas colombianas implementar soluciones basadas en tecnología *blockchain*, adaptando las mejores prácticas y aprendizajes del sector financiero público, para mejorar la seguridad, la protección de datos y la eficiencia en sus procesos críticos?

## Objetivos

### - General:

Diseñar una guía técnica que facilite el análisis de las limitaciones y oportunidades vinculadas con la incorporación de la tecnología *blockchain* en el ámbito financiero, resaltando su función en la protección de datos, la aplicación de contratos inteligentes y el fortalecimiento de la seguridad en Colombia.

### - Específicos

- Identificar las principales barreras y oportunidades técnicas, económicas, culturales y legales que influyen en la adopción de la tecnología *blockchain*, considerando referentes nacionales e internacionales y el contexto de aplicación en empresas privadas y entidades públicas en Colombia.
- Evaluar el potencial de *blockchain* como herramienta de seguridad y confianza digital, analizando casos de uso en protección de datos, gestión documental, contratos inteligentes y otros procesos críticos para organizaciones financieras públicas en Colombia.
- Diagnosticar teorías, factores y variables clave que determinan el nivel de adopción de *blockchain*, evaluando su impacto en el sector financiero y su relevancia en el ecosistema tecnológico colombiano.
- Proponer lineamientos y buenas prácticas para aplicar soluciones basadas en *blockchain* en los sectores público y privado, con especial énfasis en resguardar la información, garantizar la confidencialidad de los datos y optimizar procesos mediante contratos inteligentes en Colombia.

## Conveniencia de la Investigación

El proyecto resulta conveniente porque proporciona a las empresas colombianas lineamientos claros y sustentados para la adopción de *blockchain*, una tecnología con alto

potencial de transformación digital. Sus resultados aportarán beneficios prácticos al proponer herramientas para mejorar la seguridad informática, la protección de la privacidad y la gestión de contratos inteligentes, fortaleciendo la competitividad y la resiliencia organizacional.

El valor del presente trabajo reside en su capacidad para transferir aprendizajes del sector público hacia el privado, reduciendo la brecha en la adopción tecnológica. En cuanto a las implicaciones prácticas, permitirá a las empresas minimizar los riesgos de implementación y tomar decisiones estratégicas basadas en evidencia. Metodológicamente, ofrecerá un marco replicable para evaluar barreras y oportunidades en distintos contextos. Finalmente, el valor teórico se expresa en la contribución a la literatura sobre economías emergentes, donde *blockchain* aún enfrenta limitaciones, pero también abre oportunidades de innovación y generación de confianza digital.

## Justificación

Este estudio surge a partir de la necesidad de examinar cómo puede aplicarse la tecnología *blockchain* en el sistema financiero colombiano, considerando que la confianza, la transparencia y la seguridad son fundamentales para su fortalecimiento. Desde el punto de vista de la conveniencia, el estudio aporta una visión actual sobre una tecnología emergente que puede convertirse en un elemento estratégico para la modernización del sector financiero.

En términos de relevancia social, la implementación de *blockchain* podría contribuir a reducir la corrupción, mejorar la trazabilidad de las transacciones y aumentar la confianza de la ciudadanía en las instituciones financieras. Al mismo tiempo, fomenta la inclusión financiera mediante soluciones digitales que facilitan el acceso a servicios a comunidades tradicionalmente excluidas.

Las implicaciones prácticas son evidentes: los contratos inteligentes, las auditorías automáticas y los registros distribuidos ofrecen eficiencia operativa y reducción de costos, generando un impacto positivo en bancos, aseguradoras y organismos de control. El valor teórico radica en la posibilidad de enriquecer el conocimiento académico sobre el papel de

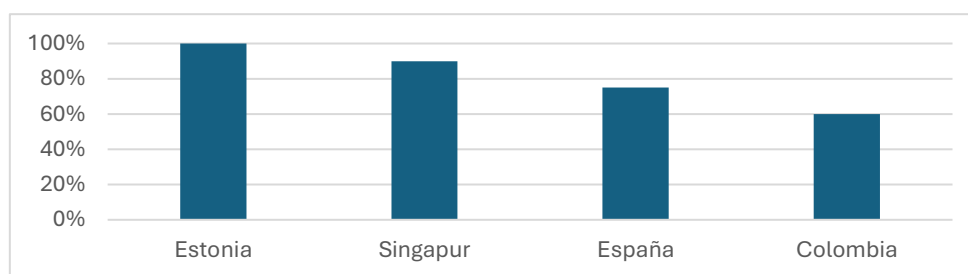
*blockchain* en países en desarrollo, ampliando la literatura existente desde una perspectiva aplicada al contexto colombiano.

Finalmente, la investigación posee utilidad metodológica al proponer un análisis documental y comparativo que servirá como referencia para futuras investigaciones sobre innovación tecnológica en el sector financiero. De acuerdo con los lineamientos de la Universidad EAN, este trabajo se enmarca en el campo de Sociedad, Cultura y Creatividad, en el grupo de Sociedad, Gestión y Emprendimiento, y en la línea de Tecnologías Emergentes y Transformación Digital.

## Marco Teórico

La tecnología *blockchain* se ha convertido en un eje estratégico para fortalecer la transparencia, la seguridad y la trazabilidad en diferentes sectores, incluido el financiero. A nivel global, diversas investigaciones resaltan su potencial para mejorar la confianza y la eficiencia en cadenas de suministro y energía (Andoni et al., 2019; Saberi et al., 2019). Sin embargo, la literatura advierte que no se trata de una solución universal, ya que enfrenta limitaciones relacionadas con la escalabilidad, la regulación y la adopción organizacional (Bager et al., 2022; Rojas & Langer, 2024).

**Figura 2. Nivel de madurez de adopción de blockchain (comparativo internacional)**



Fuente: Elaboración propia, adaptado de MinTIC (2020) y Flórez Rojas & Langer (2024).

Tal como se evidencia en la Figura 2, existen diferencias significativas en la madurez de adopción de *blockchain* entre países líderes y el caso colombiano. Mientras Estonia y Singapur alcanzan niveles de implementación consolidados, Colombia se mantiene en una

etapa piloto, pese al impulso normativo del MinTIC (2020). Este hallazgo coincide con Rojas y Langer (2024), quienes señalan que el país aún carece de mecanismos estandarizados para integrar la tecnología en sectores críticos.

En el contexto colombiano, el Ministerio TIC (2020) ha promovido lineamientos para la implementación de proyectos de *blockchain* en el sector público, y estudios recientes demuestran su aplicabilidad en áreas como la cadena de suministro de medicamentos y las notificaciones certificadas gubernamentales (Ramírez López et al., 2022; Zabala-Vargas et al., 2024). Asimismo, se identifican desafíos jurídicos y normativos que requieren mayor claridad regulatoria (Herazo Narváez et al., 2022).

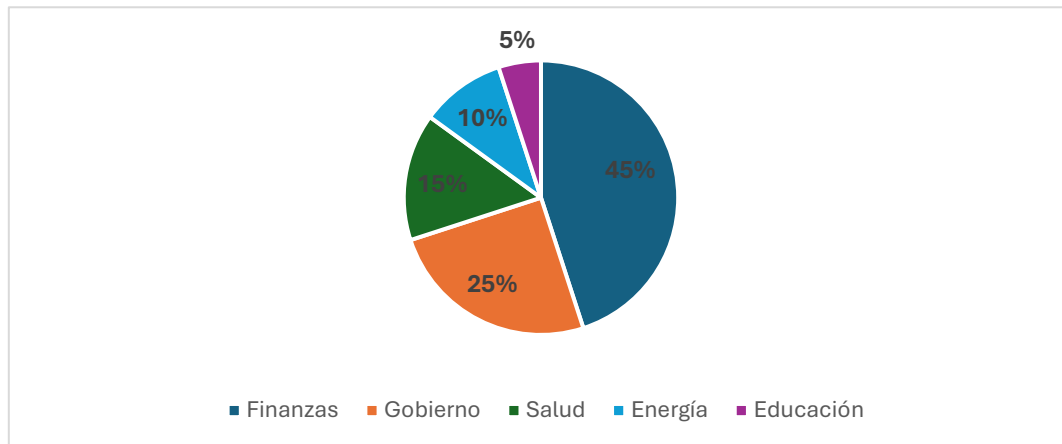
**Tabla 2. Factores críticos y barreras para la adopción de blockchain**

Dimensión	Descripción	Barreras	Oportunidades	Ejemplo
Técnica	Infraestructura y estandarización	Interoperabilidad limitada	Mejora de trazabilidad	Project Hyperledger – Ramírez López et al. (2022)
Económica	Costos y retorno de inversión	Alto costo inicial	Reducción de intermediarios	BBVA Smart Contracts
Cultural	Adopción organizacional	Desconocimiento general	Transparencia y confianza	Banco Agrario (Colombia)
Legal	Marco regulatorio	Ausencia de normas específicas	Sandbox regulatorio	Superintendencia Financiera de Colombia

Fuente: Elaboración propia con base en Ramírez López et al. (2022) y Espinosa (2020).

La Tabla 2 sintetiza los factores determinantes para la adopción de *blockchain* en Colombia, destacando la persistencia de barreras técnicas y regulatorias, así como la existencia de oportunidades en eficiencia y transparencia (Ramírez López et al., 2022; Espinosa, 2020).

Figura 3. Distribución sectorial de aplicaciones de blockchain en Colombia



Fuente: Elaboración propia con base en MinTIC (2020) y Zabala-Vargas et al. (2024).

Como se observa en la Figura 3, el sector financiero lidera la implementación de soluciones de *blockchain* en Colombia con un 45 %, seguido del gobierno con un 25 %. Este patrón confirma el rol pionero del ámbito financiero en la digitalización y gestión de datos críticos (Zabala-Vargas et al., 2024; MinTIC, 2020).

Desde un enfoque teórico, destacan los contratos inteligentes como herramienta de automatización y reducción de intermediarios en procesos financieros (IBM, 2023), aunque también se han documentado riesgos asociados a su uso indebido en prácticas corruptas (Metropolitano, 2023). En conjunto, la evidencia refleja que *blockchain* en Colombia tiene un potencial transformador, condicionado a superar barreras regulatorias, técnicas y de confianza.

#### Enfoque, alcance y diseño de la investigación

De acuerdo con el problema planteado, esta investigación se desarrolla bajo un enfoque cualitativo, centrado en el análisis de casos de estudio, revisión de literatura académica y fuentes especializadas que permitan comprender la aplicación de la tecnología *blockchain* en el sector financiero.

El alcance de la investigación es descriptivo y correlacional: descriptivo, porque busca caracterizar las principales aplicaciones financieras de blockchain y su impacto en la eficiencia, transparencia y seguridad; correlacional, porque se pretende establecer relaciones entre la adopción de esta tecnología y factores como la regulación, la confianza de los usuarios y la integración con el sistema bancario tradicional.

El diseño de investigación es no experimental, pues no se manipulan variables directamente; transversal, ya que se realiza una recolección de datos en un único momento; y aplicado, en la medida en que los hallazgos se orientan a proponer lineamientos o reflexiones prácticas que puedan contribuir a la implementación de blockchain en instituciones financieras, especialmente en el contexto colombiano.

### Definición de variables

Esta investigación busca identificar y analizar los factores asociados a la adopción y aplicación de la tecnología *blockchain* en el sector financiero, principalmente en bancos y entidades públicas de Colombia. Al tratarse de un estudio descriptivo y correlacional, no se establecen variables dependientes e independientes, sino interdependencias entre los factores estudiados.

### Variables principales

- Adopción de blockchain
  - *Conceptual*: Grado de implementación en procesos financieros.
  - *Operacional*: Identificación de casos en bancos y entidades públicas.
- Eficiencia
  - *Conceptual*: Mejora en tiempos y reducción de costos.
  - *Operacional*: Revisión de evidencias en liquidación y costos operativos.
- Seguridad de la información
  - *Conceptual*: Integridad y trazabilidad de datos y transacciones.
  - *Operacional*: Análisis de reportes de ciberseguridad en implementaciones.
- Regulación

- *Conceptual*: Normas y marcos legales aplicables al sector financiero.
- *Operacional*: Revisión de legislación colombiana e internacional.

## Definición conceptual y operacional

Las variables de la investigación se entienden desde marcos teóricos relacionados con innovación financiera, tecnología *blockchain*, confianza digital y regulación en sistemas financieros. Por ejemplo, “adopción de *blockchain*” se concibe como el nivel de implementación de esta tecnología en procesos de gestión de datos, transacciones y servicios financieros.

Para efectos del estudio, las variables serán medidas a través de revisión documental, estudios de caso y reportes institucionales. Las unidades de medida no son numéricas, sino categóricas o cualitativas (por ejemplo: nivel de implementación, tipo de aplicación, marco regulatorio, impacto en eficiencia o transparencia).

## Población y muestra

La población de este estudio corresponde a las entidades financieras que han explorado o implementado soluciones basadas en *blockchain*, tanto en Colombia como en referentes internacionales. Dado el número limitado de casos documentados, se aplicará un muestreo por conveniencia, seleccionando aquellos casos con información pública, confiable y reciente.

La muestra estará conformada por casos de estudio representativos, incluyendo experiencias de bancos centrales y comerciales (por ejemplo, Banco de la República, Banco Agrario, Banco Santander y Project Ubin en Singapur). Este enfoque permite analizar las variables definidas previamente (adopción, eficiencia, seguridad y regulación) sin necesidad de aplicar encuestas ni censos.

## Técnicas de análisis de datos

Una vez recolectada la información a partir de fuentes secundarias (artículos científicos, reportes de bancos centrales y organismos financieros), se aplicarán técnicas de análisis orientadas al enfoque cualitativo y cuantitativo:

- Enfoque cuantitativo: se empleará estadística descriptiva para organizar y resumir datos relacionados con adopción de *blockchain*, niveles de inversión, reducción de costos operativos y tiempos de procesamiento. También se podrán utilizar técnicas comparativas entre casos internacionales y nacionales para establecer tendencias.
- Enfoque cualitativo: se aplicará análisis documental y análisis del discurso, con el fin de identificar percepciones, desafíos regulatorios y oportunidades expresadas en informes institucionales y publicaciones académicas.

La combinación de estas técnicas permitirá obtener resultados integrales sobre el impacto de *blockchain* en el sector financiero, contrastando métricas objetivas con interpretaciones contextuales.

**Tabla 3. Resumen de técnicas de análisis**

Instrumento de recolección	Técnica de análisis	Descripción
Documentos académicos y técnicos	Análisis documental	Identificación de categorías, conceptos clave y hallazgos sobre blockchain en finanzas
Reportes de bancos y organismos	Estadística descriptiva	Organización y resumen de indicadores financieros (costos, tiempos, volumen de transacciones)
Informes regulatorios y normativos	Análisis del discurso	Interpretación de posturas institucionales frente a la adopción de blockchain

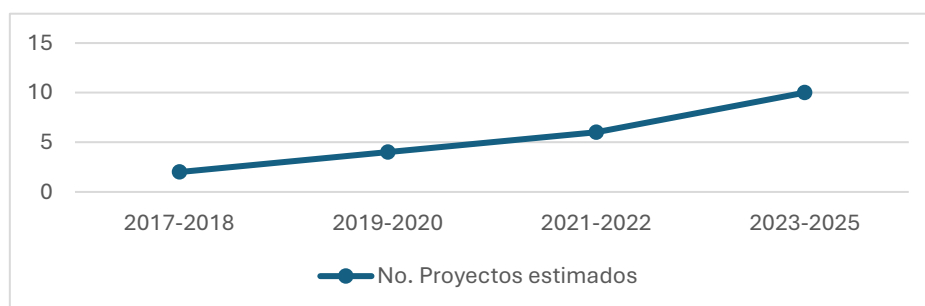
Fuente: Elaboración propia con base en Ramírez López et al. (2022) y Espinosa (2020).

## Análisis y discusión de los resultados

El análisis de los resultados obtenidos en esta investigación permite identificar los factores determinantes para la adopción y aplicación de la tecnología *blockchain* en el sector financiero colombiano, tomando como referencia casos nacionales e internacionales de éxito y fracaso.

A partir de la revisión documental, el análisis bibliométrico y el estudio de casos — como Project Ubin (Monetary Authority of Singapore, 2021), el piloto del Banco de la República con tecnología Ripple (2023) y las iniciativas del Banco Santander y BBVA— se evidencian tendencias claras sobre la evolución de esta tecnología. Asimismo, se destacan los desafíos regulatorios y el potencial de *blockchain* para fortalecer la transparencia, mejorar la eficiencia operativa y garantizar la seguridad en las transacciones financieras.

**Figura 4. Evolución temporal de proyectos *blockchain* en Colombia (2017–2025)**



Fuente: Elaboración propia con base en MinTIC (2020), Flórez Rojas & Langer (2024) y Herazo-Narváez et al. (2022).

La Figura 4 muestra la evolución en el número y la naturaleza de los proyectos de *blockchain* desarrollados en Colombia durante los últimos años.

Entre 2017 y 2018 surgieron los primeros pilotos experimentales, impulsados principalmente por entidades públicas como la Procuraduría General de la Nación y el Banco de la República. Estos proyectos se centraron en la transparencia y trazabilidad de la contratación estatal, como el piloto del Programa de Alimentación Escolar (PAE), documentado por Espinosa (2020) y analizado posteriormente por Flórez y Langer (2024) en

el contexto del *Transparency Project* del WEF. También se desarrollaron pruebas de registro notarial y catastral digital con el apoyo del MinTIC (2020).

Durante el periodo 2019–2020, se observó una expansión hacia los sectores financiero y académico, con iniciativas como el proyecto de pagos de alto valor del Banco de la República con tecnología Ripple y los primeros desarrollos de contratos inteligentes en BBVA y Banco Santander (Andoni et al., 2019). Esta etapa se caracterizó por el fortalecimiento del marco institucional y el interés de las universidades en investigación aplicada sobre interoperabilidad y eficiencia de procesos (MinTIC, 2020).

Entre 2021 y 2022, el uso de *blockchain* se diversificó hacia salud, energía y educación, destacándose el modelo Hyperledger para la trazabilidad de medicamentos COVID-19 (Ramírez López et al., 2022) y el piloto de XM del Grupo ISA para optimizar transacciones en el mercado energético (Espinosa, 2020). Este periodo marca la transición de pruebas de concepto a implementaciones funcionales en operaciones reales, con beneficios medibles en eficiencia y seguridad.

Finalmente, durante 2023–2025, diversos autores proyectan la consolidación del ecosistema de *blockchain* colombiano, con al menos diez proyectos activos o en expansión, orientados a finanzas descentralizadas (DeFi), identidad digital, seguros inteligentes y gestión documental interoperable (Flórez & Langer, 2024; Herazo Narváez et al., 2022). Estas iniciativas representan una transición hacia modelos más maduros de gobernanza tecnológica, en los que la colaboración público-privada y la formación de talento especializado actúan como principales impulsores de innovación (Bager et al., 2022).

En conjunto, esta evolución evidencia que Colombia ha pasado de una etapa experimental a un escenario de adopción estratégica y diversificada, sustentada en marcos regulatorios flexibles, como el *Sandbox Financiero*, y en la madurez institucional descrita por MinTIC (2020) y Herazo Narváez et al. (2022).

#### Adopción y madurez tecnológica del blockchain

Los análisis bibliométricos sobre la tecnología *blockchain* en el sector financiero permiten identificar los siguientes aspectos. Todos los artículos fueron seleccionados de la base de datos Scopus, dentro del periodo 2016–2020:

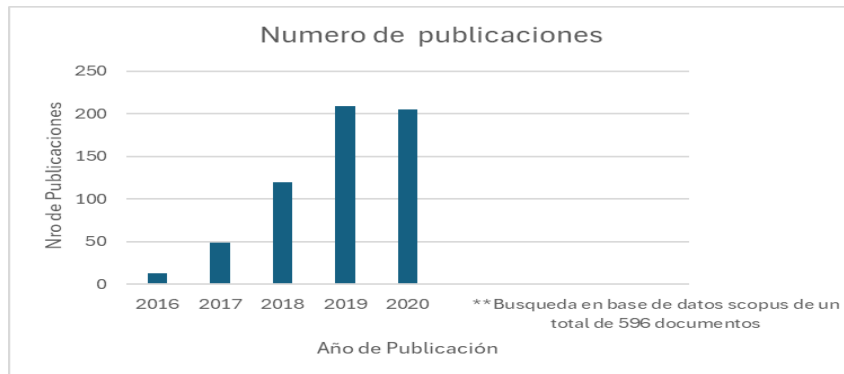
- *Blockchain* es una tecnología de la Cuarta Revolución Industrial que funciona como un libro contable descentralizado.
- Ha mostrado aplicaciones en banca, seguros y mercados financieros, mediante contratos inteligentes, reducción de tiempos de respuesta y transacciones seguras.
- Aunque aún no se ha implementado de forma masiva, se observa un crecimiento en los proyectos de prueba de concepto en servicios financieros.

La metodología utilizada en este análisis fue cuantitativa y descriptiva, basada en indicadores bibliométricos que permiten evaluar la producción científica y la evolución de la investigación sobre *blockchain* en finanzas. Entre los principales indicadores se incluyen:

- Producción científica de los autores.
- Referencias bibliográficas o citas.
- Número de autores por artículo.
- Revistas líderes en el tema.
- Disciplinas principales de publicación.
- Tipos de estudio.
- Coautoría y coocurrencia de palabras clave.

Este enfoque permitió analizar la madurez tecnológica de *blockchain* en el sector financiero y establecer patrones de adopción, identificando tanto la evolución de la investigación como las oportunidades para su implementación futura.

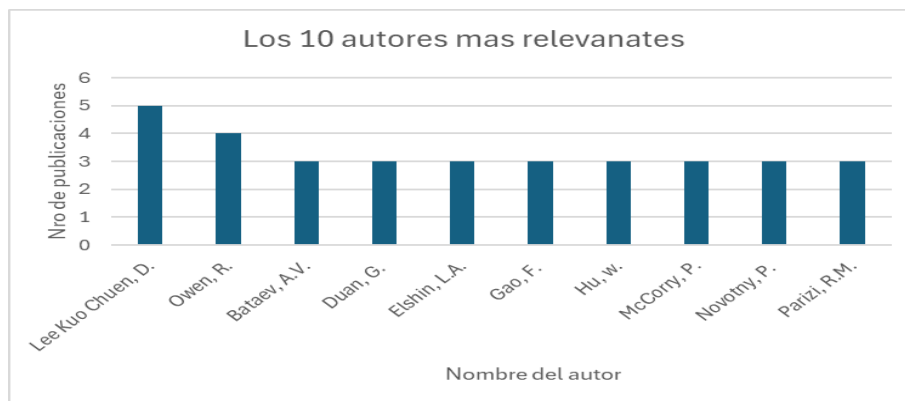
**Figura 5. Número de publicaciones entre 2016 y 2020**



Fuente: *Elaboración propia con base en Bibliometric Analysis of Blockchain Technology in Finance: Análisis bibliométrico sobre la tecnología blockchain en las finanzas (Tecnura, 2024).*

La figura evidencia la cantidad de publicaciones sobre blockchain en el sector financiero durante los años 2016–2020.

**Figura 6. Autores más relevantes y número de publicaciones**



Fuente: *Elaboración propia con base en Bibliometric Analysis of Blockchain Technology in Finance: Análisis bibliométrico sobre la tecnología blockchain en las finanzas (Tecnura, 2024).*

La figura 6 muestra los 10 autores más relevantes y la cantidad de publicaciones relacionadas con blockchain en finanzas. A continuación, se presentan Datos específicos de las revistas que más publican sobre tecnología Blockchain en finanzas:

**Tabla 4. Revistas relevantes en publicación de blockchain**

Fuentes de publicación más relevantes	Documentos	SJR
Lecture Notes in Computer Science	49	0,427
ACM International Conference Proceeding Series	25	0,200
Advances in Intelligent Systems and Computing	13	0,184
IEEE Access	9	0,775
Communications in Computer and Information Science	6	0,188

Fuente: Elaboración propia con base en *Bibliometric Analysis of Blockchain Technology in Finance: Análisis bibliométrico sobre la tecnología blockchain en las finanzas* (Tecnura, 2024).

SJR (SCImago Journal Rank) es una métrica que evalúa el prestigio y la calidad de las revistas académicas, basándose en la importancia de las revistas que las citan. Esta métrica mide la influencia científica de las publicaciones en su respectivo campo.

Finalmente, el estudio presenta los resultados sobre los países con mayor producción científica en *blockchain* aplicado a las finanzas:

**Tabla 5. Países con mayor producción científica en blockchain**

País	Publicaciones
China	140
Estados Unidos	104
Reino Unido	59
India	52
Rusia	35
Alemania	32
Australia	23
Italia	21
Canadá	20
Singapur	18

Fuente: Elaboración propia con base en *Bibliometric Analysis of Blockchain Technology in Finance” – Análisis bibliométrico sobre la tecnología Blockchain en las finanzas* publicado en la revista *Tecnura* (2024)

### Blockchain en Colombia

Los resultados muestran que la adopción de *blockchain* en el sector financiero colombiano se encuentra en una fase inicial de experimentación. Entidades como el Banco de la República han desarrollado pilotos de pagos de alto valor, mientras que otras instituciones, como el Banco Agrario, han mostrado interés en la trazabilidad de operaciones y la

digitalización de procesos (MinTIC, 2020). No obstante, los hallazgos indican que persisten brechas tecnológicas y normativas que limitan una implementación a gran escala.

**Tabla 6. Casos de uso relevantes de blockchain en Colombia**

Sector	Caso de uso	Entidad / Proyecto	Beneficio principal	Referencia
Gobierno	Transparencia en contratación pública	<i>Proyecto PAE</i> (WEF–Procuraduría General de la Nación)	Prevención de corrupción y trazabilidad documental	Flórez & Langer (2024); Espinosa (2020)
Salud	Trazabilidad de medicamentos COVID-19	<i>Modelo Hyperledger – Invima</i>	Control de distribución y autenticidad de productos médicos	Ramírez López et al. (2022)
Finanzas	Contratos inteligentes para pagos y liquidaciones	<i>BBVA Smart Contracts / Banco Santander Blockchain Lab</i>	Reducción de intermediarios y mejora en tiempos de transacción	Andoni et al. (2019); IBM (2023)
Energía	Gestión descentralizada de transacciones eléctricas	<i>XM – Grupo ISA Blockchain Pilot</i>	Optimización del flujo energético y reducción de errores operativos	Espinosa (2020); MinTIC (2020)
Educación	Certificación académica digital	<i>Ministerio TIC – Red de Blockchain Educativo</i>	Validación segura de títulos y credenciales académicas	Herazo-Narváez et al. (2022)

*Fuente: Elaboración propia con base en Espinosa (2020), Ramírez López et al. (2022), Flórez Rojas & Langer (2024), Andoni et al. (2019) y Herazo-Narváez et al. (2022).*

La Tabla 6 presenta una síntesis de los principales casos de aplicación de *blockchain* en Colombia, destacando su diversidad sectorial y el enfoque en la trazabilidad y transparencia de los procesos. En el ámbito gubernamental, el Proyecto PAE demostró la capacidad del *blockchain* para prevenir prácticas corruptas mediante el registro inmutable de licitaciones y contratos (Flórez & Langer, 2024). En salud, la experiencia del Invima con

Hyperledger durante la pandemia evidenció su utilidad en la gestión de la cadena de suministro de medicamentos esenciales (Ramírez López et al., 2022).

En el sector financiero, los pilotos de BBVA y Banco Santander implementaron contratos inteligentes que permitieron automatizar procesos y reducir costos transaccionales (Andoni et al., 2019; IBM, 2023). Por su parte, el proyecto de XM del Grupo ISA en energía validó el potencial del *blockchain* para mejorar la trazabilidad de flujos eléctricos y optimizar el control de operaciones (Espinosa, 2020). Finalmente, las iniciativas del MinTIC en educación apuntan al uso de esta tecnología para la verificación de títulos académicos y la interoperabilidad de registros institucionales (Herazo Narváez et al., 2022).

En conjunto, estos casos evidencian que la adopción de *blockchain* en Colombia ha trascendido el sector financiero, consolidándose como una herramienta transversal de innovación orientada a la eficiencia, la transparencia y la confianza institucional.

A nivel internacional, los casos de Project Ubin y JPM Coin de JP Morgan muestran cómo la interoperabilidad y los estándares regulatorios claros han sido factores críticos de éxito (Andoni et al., 2019). Esto refuerza la hipótesis de que la madurez institucional y regulatoria es un predictor clave para la adopción efectiva de la tecnología.

### Impacto en la eficiencia y seguridad

En términos de impacto, se identificó que los sistemas *blockchain* generan una reducción significativa en los tiempos de liquidación y los costos de intermediación. El uso de contratos inteligentes (*smart contracts*), como lo demuestran IBM (2023) y Saberi et al. (2019), permite automatizar procesos de verificación, reduciendo errores humanos y fortaleciendo la seguridad transaccional. No obstante, la investigación también revela que el *blockchain* no está exento de vulnerabilidades. Tras varios casos de ataques a plataformas descentralizadas posteriores a 2020 (Rojas & Langer, 2024), la literatura coincide en la necesidad de combinar seguridad criptográfica avanzada con marcos legales que garanticen la protección de los datos personales y la trazabilidad de las operaciones. En este sentido,

Colombia debe avanzar en la integración de políticas públicas que promuevan un entorno regulado y seguro para la innovación financiera.

### Regulación y gobernanza tecnológica

Uno de los principales hallazgos es la ausencia de una política unificada de gobernanza de *blockchain* en el país. Aunque la Superintendencia Financiera de Colombia (SFC) ha impulsado espacios de experimentación como el Sandbox regulatorio, aún no existe un marco jurídico robusto que respalde las operaciones basadas en *blockchain* en el sector público (Herazo-Narváez et al., 2022).

Comparativamente, países como Singapur y Estonia han implementado marcos legales flexibles que permiten la interoperabilidad entre entidades, garantizando la integridad de los datos y la trazabilidad de los activos digitales. Esto refuerza la importancia de contar con mano de obra calificada, capaz de comprender tanto los aspectos técnicos como los éticos y normativos de la tecnología.

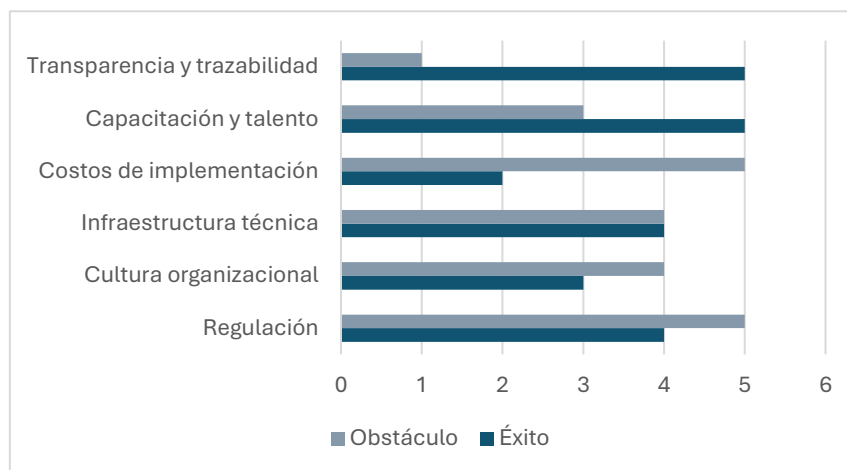
### Factores de éxito y barreras de implementación

Los resultados permiten identificar cuatro dimensiones clave que influyen en la adopción de *blockchain*:

- Técnica: Infraestructura tecnológica limitada y falta de estandarización.
- Económica: Altos costos de inversión inicial y retorno de inversión incierto.
- Cultural: Baja confianza institucional y desconocimiento general sobre *blockchain*.
- Legal: Carencia de normativas específicas sobre contratos inteligentes y protección de datos (Zabala-Vargas et al., 2024).

A pesar de estas barreras, se observan oportunidades significativas. Los casos de uso en pagos transfronterizos, verificación de identidad digital y gestión documental evidencian el potencial de *blockchain* para optimizar la eficiencia administrativa y mejorar la confianza digital entre entidades financieras públicas y privadas.

Figura 7. Escala de factores de éxito y obstáculos percibidos en la adopción de blockchain



Fuente: Elaboración propia con base en Saberi et al. (2019), Bager et al. (2022) y Flórez Rojas & Langer (2024).

La Figura 7 sintetiza los principales factores que influyen en el éxito o fracaso de la adopción de *blockchain* en el contexto colombiano y global. El análisis se sustenta en los estudios de Saberi et al. (2019) sobre cadenas de suministro sostenibles, Bager et al. (2022) sobre factores de implementación tecnológica en América Latina, y Flórez y Langer (2024) respecto al caso de la contratación pública en Colombia.

Desde una perspectiva comparativa, los resultados permiten clasificar los elementos determinantes en dos grupos:

#### Factores de éxito

- Transparencia y trazabilidad: considerados los principales impulsores de confianza en los ecosistemas digitales (Saberi et al., 2019).
- Apoyo institucional y marcos regulatorios flexibles: la creación de entornos de experimentación, como el Sandbox Financiero, facilita el desarrollo de proyectos controlados y escalables (Herazo-Narváez et al., 2022).

- Capacitación y cultura digital: la formación de talento especializado y la articulación entre entidades públicas y privadas son determinantes para la sostenibilidad de los proyectos (Bager et al., 2022).

## Obstáculos o limitaciones

- Infraestructura tecnológica insuficiente: persisten problemas de interoperabilidad entre sistemas y baja conectividad en regiones apartadas (Espinosa, 2020).
- Costos de implementación: la inversión inicial en hardware, licencias y personal capacitado limita la adopción por parte de pequeñas y medianas empresas (MinTIC, 2020).
- Falta de normativas específicas: la ausencia de marcos jurídicos que regulen el uso de contratos inteligentes y la gestión de datos personales ralentiza la expansión del blockchain en sectores críticos (Herazo-Narváez et al., 2022).
- Resistencia cultural: la percepción de complejidad y la falta de confianza institucional continúan siendo barreras significativas (Bager et al., 2022).

En síntesis, la evidencia empírica indica que los proyectos *blockchain* logran mayor éxito cuando se insertan en contextos donde existe claridad regulatoria, infraestructura tecnológica consolidada y compromiso institucional. Saberi et al. (2019) destacan que estos elementos son interdependientes: la regulación efectiva incentiva la inversión, la inversión mejora la infraestructura y esta, a su vez, refuerza la confianza y la participación de los actores. Según Flórez y Langer (2024), el caso colombiano refleja un escenario de transición en el que la alineación entre tecnología y gobernanza determinará la sostenibilidad futura de las iniciativas *blockchain*.

## Interpretación de los hallazgos

Los resultados obtenidos permiten afirmar que la adopción de *blockchain* no debe verse como una simple digitalización de procesos, sino como un cambio estructural en la

lógica de confianza y verificación dentro del sistema financiero. La correlación entre la adopción tecnológica (variable independiente) y los niveles de eficiencia y seguridad (variable dependiente) es positiva, aunque condicionada por variables de control como la regulación y la madurez tecnológica del entorno. En coherencia con los objetivos del estudio, los hallazgos sustentan la necesidad de desarrollar una guía técnica de implementación que integre buenas prácticas, lineamientos regulatorios y estrategias de formación de talento especializado.

**Tabla 7. Síntesis de variables operacionales y hallazgos clave**

Variable	Hallazgo principal	Implicación práctica	Referencia
Adopción tecnológica	Fase inicial con pilotos en instituciones públicas y financieras	Requiere estrategias de escalabilidad e interoperabilidad entre plataformas	MinTIC (2020); Flórez & Langer (2024)
Eficiencia	Reducción de costos y tiempos de liquidación gracias a contratos inteligentes	Impulsa la productividad y disminuye los intermediarios financieros	Saberi et al. (2019); IBM (2023)
Seguridad y trazabilidad	Incremento en la integridad de datos y reducción de errores operativos	Necesita consolidar marcos regulatorios y prácticas de ciberseguridad avanzadas	Rojas & Langer (2024); Espinosa (2020)
Regulación y gobernanza	Ausencia de un marco legal integrado y políticas unificadas de blockchain	Exige armonización normativa y desarrollo de lineamientos públicos de adopción	Herazo-Narváez et al. (2022); MinTIC (2020)

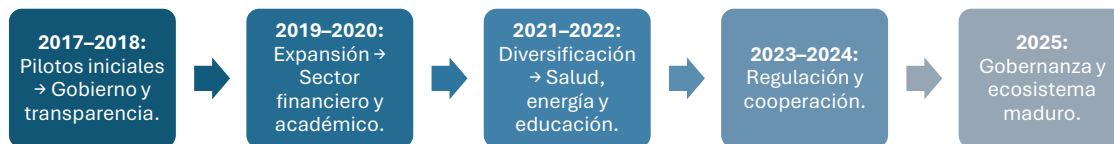
*Fuente: Elaboración propia con base en MinTIC (2020), Saberi et al. (2019), Rojas & Langer (2024), IBM (2023) y Herazo-Narváez et al. (2022).*

La Tabla 7 consolida la relación entre las variables de investigación y los principales hallazgos del estudio. Se evidencia que la adopción tecnológica avanza de manera progresiva, pero depende de la capacidad de las instituciones para integrar soluciones interoperables y escalables (Flórez & Langer, 2024).

La variable de eficiencia se asocia positivamente con la implementación de contratos inteligentes, los cuales reducen costos operativos y fortalecen la automatización de procesos financieros (Saberri et al., 2019; IBM, 2023). Por su parte, la seguridad y trazabilidad demuestran beneficios tangibles en la prevención de fraudes y el control de información, aunque requieren mayores esfuerzos en materia de ciberseguridad y gobernanza de datos (Rojas & Langer, 2024; Espinosa, 2020). Finalmente, la regulación y gobernanza continúan siendo los factores más críticos, ya que la falta de políticas unificadas limita la confianza institucional y el desarrollo de estándares técnicos nacionales (Herazo-Narváez et al., 2022; MinTIC, 2020).

En conjunto, los resultados confirman que la adopción del blockchain en Colombia depende de un equilibrio entre innovación tecnológica, seguridad jurídica y fortalecimiento institucional, en línea con las recomendaciones del MinTIC (2020) y las conclusiones de Flórez y Langer (2024).

**Figura 8. Línea de tiempo conceptual del ecosistema blockchain en Colombia (2017–2025)**



*Fuente: Elaboración propia con base en MinTIC (2020), Flórez Rojas & Langer (2024), Herazo-Narváez et al. (2022), Ramírez López et al. (2022) y Espinosa (2020).*

La Figura 8 ilustra la evolución del ecosistema blockchain colombiano desde sus primeras fases experimentales hasta su proyección hacia 2025 como un entorno consolidado de gobernanza tecnológica. Entre 2017 y 2018, se desarrollaron los primeros pilotos de transparencia pública (Espinosa, 2020); entre 2019 y 2020, se amplió el uso hacia el sector financiero y académico (MinTIC, 2020); durante 2021 y 2022, la tecnología se diversificó hacia salud, energía y educación (Ramírez López et al., 2022); y entre 2023 y 2024, se fortaleció el marco regulatorio y la cooperación público-privada (Herazo-Narváez et al., 2022).

Finalmente, para 2025, se proyecta un ecosistema blockchain maduro, caracterizado por la interoperabilidad, la descentralización de servicios financieros y la estandarización normativa (Flórez & Langer, 2024).

## Monedas Digitales de Bancos Centrales (CBDC): la evolución clave del blockchain en el sistema financiero

La evolución del sistema financiero global ha dado origen a una de las innovaciones más disruptivas derivadas del *blockchain*: las Monedas Digitales de Bancos Centrales (CBDC, por sus siglas en inglés – Central Bank Digital Currencies).

Estas representan una versión digital del dinero fiduciario emitido directamente por los bancos centrales, respaldada por el Estado y registrada en plataformas tecnológicas inspiradas en *blockchain* o en sistemas de libros contables distribuidos (DLT, *Distributed Ledger Technology*). A diferencia de las criptomonedas como Bitcoin o Ethereum —que operan de manera descentralizada y sin respaldo institucional—, las CBDC son monedas oficiales emitidas y controladas por autoridades monetarias. Esto garantiza estabilidad de valor, legitimidad legal y capacidad de uso para transacciones oficiales, integrando al mismo tiempo la eficiencia y trazabilidad propias del *blockchain* (BIS, 2023).

### CBDC y su relación con la tecnología blockchain

El *blockchain* ha sido la base tecnológica que inspiró el diseño de las CBDC. Sin embargo, los bancos centrales suelen utilizar versiones permissionadas, donde las transacciones son validadas por actores autorizados (por ejemplo, el propio banco central y entidades financieras acreditadas). Este modelo combina la seguridad, inmutabilidad y transparencia del *blockchain* con el control regulatorio y la estabilidad monetaria del sistema financiero tradicional (IMF, 2022).

La arquitectura de las CBDC permite:

- Pagos instantáneos y seguros entre bancos, empresas y ciudadanos.
- Reducción de costos de transacción y eliminación de intermediarios innecesarios.

- Inclusión financiera, al facilitar el acceso de la población no bancarizada a servicios digitales.

### Importancia de las CBDC para el contexto colombiano

En Colombia, el Banco de la República ha mostrado interés en analizar los modelos de CBDC adoptados por países como China (*Yuan Digital*), Nigeria (*eNaira*) y Suecia (*e-Krona*), reconociendo que podrían modernizar los pagos interbancarios y mejorar la eficiencia del sistema financiero nacional (Banco de la República, 2024).

### La adopción de una CBDC colombiana permitiría:

Además, la adopción de una CBDC colombiana permitiría:

- Facilitar pagos entre el Estado y los ciudadanos (por ejemplo, subsidios o transferencias sociales).
- Aumentar la transparencia en la gestión pública y reducir la corrupción.
- Integrar a Colombia en redes financieras internacionales más seguras y rápidas.

El desarrollo de las CBDC se alinea con los objetivos de digitalización del país impulsados por el MinTIC y la Superintendencia Financiera, que han explorado el uso del *blockchain* en proyectos piloto de innovación financiera.

### Relevancia para empresarios e inversionistas

Para empresarios, fintechs e inversionistas colombianos, comprender las CBDC es esencial por razones estratégicas:

- Innovación en medios de pago: transforman las transacciones, eliminando demoras y comisiones asociadas a intermediarios.
- Oportunidades de negocio: permiten la creación de startups y soluciones tecnológicas de infraestructura, seguridad e interoperabilidad.

- Cumplimiento normativo: las CBDC estarán sujetas a regulaciones estrictas sobre datos y trazabilidad.
- Atracción de inversión internacional: facilitan la integración a ecosistemas financieros globales digitalizados.

En síntesis, las CBDC representan la convergencia entre innovación tecnológica y estabilidad monetaria, marcando la siguiente fase de evolución del *blockchain*.

### Cooperación regulada y marcos normativos

Instituciones como el Banco de Pagos Internacionales (BIS), el Banco Central Europeo (BCE) y otros bancos centrales han generado grupos de trabajo para definir arquitecturas de pago internacional basadas en CBDC. Una prioridad es que estas infraestructuras cumplan con normas comunes, como prevención de lavado de activos (AML/KYC), regulación de privacidad de datos (por ejemplo, GDPR) y estándares de ciberseguridad (Basel II/III) (Mohammed et al., 2025).

Este enfoque permite que las CBDC basadas en *blockchain* o DLT funcionen en entornos permisionados, asegurando trazabilidad sin comprometer la soberanía monetaria.

### Beneficios para gobiernos y empresas

- Gobiernos: acceso a plataformas de transferencia internacional más eficientes, reducción de costos de operación del sistema de pagos, mayor transparencia fiscal y mejor supervisión de flujos monetarios (Mohammed et al., 2025).
- Empresas e inversionistas: pagos transfronterizos más rápidos y económicos, reducción de intermediarios, estándares regulatorios más claros y oportunidades emergentes en infraestructura tecnológica, *wallets* empresariales y servicios de tokenización compatibles con CBDC.

### Retos de la cooperación transatlántica en CBDC

A pesar del progreso, existen desafíos relevantes:

- Interoperabilidad técnica: distintas jurisdicciones utilizan plataformas diversas (Corda, Hyperledger, redes propietarias).
- Privacidad del usuario vs trazabilidad: equilibrio entre privacidad financiera y monitoreo de flujos monetarios.
- Ciberseguridad y resiliencia: mayor exposición a ataques sofisticados requiere capas adicionales de protección.
- Capacitación y cambio cultural: gobiernos y empresas deben desarrollar competencias tecnológicas, normativas y operativas para gestionar CBDC y ecosistemas basados en *blockchain*.

En resumen, la cooperación transatlántica en CBDC constituye un paso decisivo hacia la convergencia del sistema financiero global, en el que el *blockchain* actúa como catalizador; su éxito dependerá del diseño regulatorio, desarrollo de infraestructura interconectada y adaptación de actores públicos y privados (Mohammed et al., 2025).

## **Contratos inteligentes: automatización y transparencia en el ecosistema blockchain financiero**

Los **contratos inteligentes** (*smart contracts*) son programas informáticos autoejecutables que permiten automatizar el cumplimiento de acuerdos sin la intervención de intermediarios. Su funcionamiento se basa en código almacenado dentro de una red blockchain, garantizando inmutabilidad, trazabilidad y transparencia (IBM, 2023). En términos simples, un contrato inteligente ejecuta automáticamente acciones predeterminadas —como transferencias, validaciones o notificaciones— cuando se cumplen ciertas condiciones registradas en la cadena de bloques (MinTIC, 2020).

### Relación entre contratos inteligentes y blockchain

La relación entre los contratos inteligentes y la tecnología blockchain es intrínseca. Blockchain actúa como la infraestructura digital descentralizada donde se almacenan los contratos y se validan las transacciones que estos generan. Cada contrato se implementa en bloques cifrados y distribuidos en nodos de la red, lo que impide su modificación o manipulación una vez desplegado (Pizzi et al., 2024).

Gracias al consenso distribuido, la ejecución de los contratos es verificable públicamente y no depende de una entidad central, fortaleciendo la confianza entre las partes y reduciendo los costos asociados a auditorías o intermediación legal. En el sector financiero, los contratos inteligentes son clave para procesos como préstamos automatizados, seguros digitales, liquidación de activos y pagos interbancarios en tiempo real (Zhang et al., 2022).

#### Funcionamiento y arquitectura tecnológica

El funcionamiento de un contrato inteligente se apoya en código fuente escrito en lenguajes especializados, como:

- Solidity (usado en Ethereum y Binance Smart Chain),
- Rust (en Solana), o
- Chaincode (en Hyperledger Fabric).

El proceso de ejecución sigue tres fases:

1. Programación y validación: los términos del contrato (condiciones, fechas, pagos, responsabilidades) se traducen a código.
2. Despliegue en blockchain: el contrato se publica en una red distribuida, donde todos los nodos verifican su autenticidad.
3. Ejecución automática: cuando se cumplen las condiciones predefinidas, el contrato se ejecuta y registra la transacción en la cadena de bloques (IBM, 2023).

Esta automatización elimina errores humanos, acelera los tiempos de procesamiento y proporciona un registro inmutable y auditable de cada evento financiero.

### Aplicaciones financieras y uso en Colombia

En el contexto financiero, los contratos inteligentes se aplican para:

- Liquidación de activos digitales, reduciendo los tiempos de T+3 a T+0, como se demostró en *Project Ubin* del Banco de Singapur.
- Gestión de préstamos y seguros inteligentes, donde el pago se activa automáticamente ante eventos verificados (por ejemplo, incumplimiento o siniestro).
- Pagos transfronterizos seguros, mediante redes interoperables basadas en blockchain permissionadas (Mohammed et al., 2025).

En Colombia, los contratos inteligentes han sido explorados dentro del sandbox regulatorio “laArenera” de la Superintendencia Financiera, donde fintech locales han probado modelos de pago y custodia digital automatizados (Superintendencia Financiera de Colombia, 2023).

### Aspectos clave para su implementación en procesos financieros

Para implementar contratos inteligentes en proyectos financieros, las instituciones deben cumplir ciertos requisitos técnicos, jurídicos y de gobernanza:

1. Marco legal y regulatorio: Deben alinearse con las normativas colombianas sobre protección de datos (Ley 1581 de 2012), firmas digitales (Ley 527 de 1999) y prevención de lavado de activos (UIAF, 2024).
2. Auditoría del código: Es esencial verificar la seguridad del código mediante auditorías externas, evitando vulnerabilidades que puedan permitir hackeos o ejecuciones indebidas.

3. **Gestión de oráculos:** Los contratos inteligentes requieren fuentes de datos externas confiables (*oráculos*) para verificar condiciones del mundo real (por ejemplo, precios, fechas, eventos).
4. **Interoperabilidad tecnológica:** Deben integrarse con sistemas financieros existentes y cumplir con estándares de interoperabilidad para evitar fragmentación.
5. **Gobernanza y transparencia:** Las partes deben acordar mecanismos de resolución de conflictos y trazabilidad total del flujo de activos digitales.

En conclusión, la implementación de contratos inteligentes no solo optimiza los procesos financieros, sino que también refuerza la seguridad, reduce costos operativos y aumenta la confianza digital, contribuyendo directamente a la transformación del sistema financiero colombiano.

### **Factores de fracaso y errores comunes en la implementación de proyectos basados en blockchain**

A pesar de su potencial transformador, numerosos proyectos de blockchain han fracasado o enfrentado dificultades significativas durante su implementación. Estas fallas no se deben únicamente a la tecnología en sí, sino a la mala gestión del proceso de adopción, la falta de claridad en los objetivos, la deficiente integración con sistemas existentes y la ausencia de marcos regulatorios estables (Zhang et al., 2022).

En el contexto financiero y empresarial, comprender estos errores resulta esencial para los tomadores de decisiones, pues permite evitar pérdidas económicas, vulnerabilidades de seguridad y baja adopción institucional.

#### Falta de alineación entre el problema y la solución tecnológica

Uno de los errores más frecuentes es la implementación de blockchain sin un análisis claro de su necesidad o valor agregado. En muchos casos, las organizaciones adoptan la tecnología como una tendencia, sin evaluar si el problema realmente requiere una arquitectura descentralizada (Pizzi et al., 2024).

Esta práctica lleva a sistemas costosos y complejos que podrían resolverse con bases de datos tradicionales o soluciones de nube centralizada. Un estudio de *Financial Innovation* (Pizzi et al., 2024) revela que más del 60 % de los proyectos piloto en el sector financiero entre 2018 y 2023 no pasaron a fase de producción por falta de *product-market fit* o valor demostrable para el usuario final.

### Problemas de interoperabilidad y escalabilidad

Otro factor de fracaso común es la falta de interoperabilidad entre distintas plataformas blockchain o con sistemas financieros tradicionales. Cada red (Ethereum, Hyperledger, Corda, Quorum, entre otras) maneja sus propios estándares y protocolos, lo que dificulta la comunicación entre ellas y con los sistemas legados de bancos o bolsas de valores (Mohammed et al., 2025).

Además, muchos proyectos enfrentan problemas de escalabilidad, especialmente aquellos basados en cadenas públicas, donde el procesamiento de transacciones por segundo es limitado en comparación con los sistemas centralizados. Esto afecta directamente la viabilidad de blockchain para operaciones de gran volumen, como pagos minoristas o transferencias internacionales.

### Fallas en la gobernanza y gestión del proyecto

La ausencia de modelos de gobernanza claros es otro factor crítico. Blockchain es una tecnología distribuida que requiere decisiones colectivas sobre la validación de transacciones, actualizaciones de protocolo y manejo de datos sensibles. Cuando los roles y responsabilidades no están definidos, se generan conflictos internos, lentitud en la toma de decisiones y falta de confianza entre los actores (Pizzi et al., 2024).

Las vulnerabilidades en los contratos inteligentes representan una de las causas más documentadas de fracaso. Errores en la codificación, ausencia de auditorías o pruebas de penetración han permitido ataques y pérdidas millonarias, como ocurrió con *The DAO* (2016) o el hackeo de *Ronin Network* (2022), donde se comprometieron más de 600 millones de dólares (IBM, 2023).

En muchos casos, los equipos de desarrollo carecen de experiencia en ciberseguridad blockchain, y las organizaciones no implementan auditorías externas obligatorias antes del despliegue de contratos inteligentes. Esto demuestra que la seguridad no depende solo de la tecnología, sino de la calidad del desarrollo y la gobernanza.

### Ausencia de marco regulatorio y claridad jurídica

La incertidumbre regulatoria sigue siendo una barrera importante, sobre todo en países en desarrollo. En Colombia, aunque la Superintendencia Financiera ha avanzado con su *sandbox* regulatorio, aún existen vacíos sobre responsabilidad legal, tributación, protección de datos y tratamiento de criptoactivos (Superintendencia Financiera de Colombia, 2023).

Esta ambigüedad genera cautela en los bancos y fondos de inversión, quienes perciben riesgo jurídico al adoptar blockchain en operaciones críticas. Además, la falta de normativas uniformes entre países complica la adopción de soluciones transfronterizas, incluso para proyectos gubernamentales o de banca digital (Mohammed et al., 2025).

### Falta de talento especializado y resistencia cultural

Finalmente, un obstáculo estructural es la escasez de profesionales especializados en desarrollo, auditoría y gestión de soluciones blockchain. Según el *World Economic Forum* (2024), menos del 10 % de las instituciones financieras latinoamericanas cuenta con equipos internos capacitados en *smart contracts* y arquitectura distribuida.

A esto se suma la resistencia al cambio dentro de las organizaciones, donde los empleados y directivos suelen preferir modelos centralizados por costumbre o falta de comprensión sobre la tecnología. Sin un proceso de capacitación y adaptación cultural, la adopción de blockchain termina siendo superficial o temporal.

### Lecciones para el contexto colombiano

Los fracasos en la implementación de blockchain evidencian que la tecnología no garantiza el éxito sin una estrategia integral que contemple la planificación, la regulación y la

formación de talento. Para Colombia, donde el sector financiero busca equilibrar innovación y seguridad, las experiencias internacionales permiten identificar rutas de mitigación: fortalecer la interoperabilidad regulada, promover alianzas público-privadas, exigir auditorías técnicas obligatorias y fomentar la capacitación en ciberseguridad y desarrollo blockchain.

La tecnología blockchain se sustenta en una arquitectura distribuida que combina criptografía avanzada, consensos descentralizados y bases de datos inmutables para garantizar transparencia y seguridad en las transacciones digitales. Su desarrollo requiere la integración de múltiples componentes tecnológicos y la participación de profesionales especializados en diversas áreas, desde ingeniería de software hasta gestión de riesgos regulatorios.

#### Tecnologías fundamentales en la creación de blockchain

La construcción de una red blockchain implica el uso de diversas tecnologías de soporte, cada una con un rol específico dentro del sistema. Entre las más relevantes destacan:

- **Criptografía asimétrica y funciones hash:**  
Son la base de la seguridad en blockchain, ya que permiten la autenticación de usuarios y la verificación de integridad de los bloques mediante algoritmos como SHA-256, RSA o ECDSA (Zhang et al., 2022).  
Estas funciones garantizan que los datos registrados no puedan ser alterados sin modificar toda la cadena, lo cual otorga a blockchain su propiedad de inmutabilidad.
- **Estructura de datos distribuida:**  
Blockchain funciona como un ledger descentralizado o libro contable público donde cada nodo almacena una copia sincronizada de todas las transacciones. Esto elimina la necesidad de intermediarios y refuerza la confianza digital en entornos financieros (Mohammed et al., 2025).
- **Protocolos de consenso:**  
Los mecanismos de consenso determinan cómo los nodos validan y agregan nuevos bloques a la cadena. Entre los más utilizados se encuentran Proof of Work (PoW),

Proof of Stake (PoS) y variantes como Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT), usadas en redes empresariales como Hyperledger Fabric (Pizzi et al., 2024).

Los consensos empresariales permiten un equilibrio entre seguridad y eficiencia, lo que resulta fundamental para bancos y entidades públicas.

- **Contratos inteligentes y plataformas de desarrollo:**  
Los smart contracts son programas autoejecutables que automatizan transacciones bajo condiciones predefinidas. Se desarrollan en lenguajes como Solidity, Rust o Go, sobre plataformas como Ethereum, Hyperledger, Corda o Quorum, cada una adaptada a distintos usos corporativos (IBM, 2023).
- **Infraestructura en la nube y ciberseguridad:**  
Para proyectos institucionales, blockchain suele desplegarse en entornos híbridos de nube (AWS, Azure Blockchain Service o IBM Blockchain Platform). Estas soluciones integran capas de cifrado de extremo a extremo, identidad digital, y auditorías automatizadas para cumplir estándares financieros y regulatorios (World Economic Forum, 2024).

### Perfiles profesionales requeridos para proyectos blockchain

La implementación de blockchain en el ámbito financiero requiere equipos interdisciplinarios. A continuación, se describen los principales perfiles y competencias asociadas:

- **Desarrollador blockchain:** Profesional especializado en lenguajes como Solidity o Python, responsable del diseño de contratos inteligentes y la arquitectura del sistema distribuido. Debe dominar estructuras de datos, criptografía y protocolos de consenso (IBM, 2023).
- **Arquitecto de soluciones blockchain:** Define la infraestructura técnica del proyecto y selecciona la red adecuada (pública, privada o híbrida). Este perfil combina conocimientos de ingeniería de software, seguridad y gestión de bases de datos distribuidas (Zhang et al., 2022).

- Especialista en ciberseguridad blockchain: Encargado de auditar contratos inteligentes, detectar vulnerabilidades y aplicar estrategias de defensa ante ataques cibernéticos o de manipulación de datos. Su papel es crítico en el cumplimiento normativo y la protección de activos digitales (World Economic Forum, 2024).
- Analista legal y de cumplimiento (RegTech): Profesional con formación jurídica y tecnológica que asegura que la implementación respete los marcos regulatorios financieros, fiscales y de protección de datos (Superintendencia Financiera de Colombia, 2023).
- Gestor de proyectos tecnológicos (Project Manager Blockchain): Responsable de coordinar los equipos técnicos, financieros y legales bajo metodologías ágiles como Scrum o DevOps, garantizando la eficiencia del desarrollo y la alineación con los objetivos estratégicos del negocio.

## Formación y especializaciones recomendadas

En Colombia y América Latina, las universidades y centros de innovación tecnológica han comenzado a ofrecer programas de formación avanzada en blockchain y fintech, tanto a nivel de posgrado como de certificaciones técnicas. Las especializaciones más relevantes incluyen:

- Maestrías en Blockchain y Criptoconomía.
- Certificaciones de Desarrollador Blockchain (IBM, ConsenSys, Binance Academy).
- Diplomados en Ciberseguridad Financiera y Protección de Datos.
- Especializaciones en Derecho Digital y Tecnologías Financieras (RegTech).

Esta combinación de habilidades tecnológicas, jurídicas y de gestión es la clave para consolidar proyectos blockchain sostenibles y alineados con la regulación nacional (Pizzi et al., 2024).

La implementación efectiva de blockchain no depende únicamente de su tecnología subyacente, sino de la integración entre conocimiento técnico, jurídico y estratégico. En el contexto colombiano, formar equipos interdisciplinarios capaces de diseñar, auditar y mantener redes blockchain es esencial para garantizar la seguridad, la escalabilidad y la confianza de los usuarios en el ecosistema financiero digital. Solo a través de la preparación de talento especializado y el fortalecimiento institucional se podrá consolidar una adopción responsable y regulada de esta tecnología emergente.

## Conclusiones

La investigación permitió evidenciar que la tecnología blockchain constituye una herramienta transformadora para fortalecer la transparencia, eficiencia y seguridad en los procesos críticos del sector financiero colombiano. No obstante, su adopción se encuentra aún en una fase intermedia de madurez, caracterizada por la prevalencia de proyectos piloto y la ausencia de una política nacional integral de gobernanza tecnológica.

Los resultados confirman que los factores técnicos, regulatorios y culturales son los principales determinantes de la adopción efectiva de blockchain. Entre estos, la interoperabilidad tecnológica y la claridad normativa emergen como condiciones indispensables para consolidar un ecosistema confiable y escalable (MinTIC, 2020; Herazo-Narváez et al., 2022). Asimismo, la evidencia indica que los sectores con mayor avance — como finanzas, gobierno y energía— comparten un factor común: liderazgo institucional y formación de talento especializado, elementos esenciales para la sostenibilidad de las iniciativas (Flórez & Langer, 2024; Bager et al., 2022).

En términos prácticos, se recomienda el desarrollo de una Guía Técnica de Implementación de Blockchain orientada a las empresas colombianas, que integre mejores prácticas internacionales, lineamientos regulatorios y modelos de gestión de riesgos tecnológicos y de ciberseguridad. Este instrumento contribuiría a estandarizar procesos y a reducir la brecha entre el diseño experimental y la aplicación operativa.

Finalmente, el estudio resalta la necesidad de fortalecer la cooperación entre los sectores público, privado y académico, promoviendo espacios de experimentación controlada y políticas públicas que estimulen la innovación responsable. La evolución proyectada hacia 2025 sugiere que Colombia puede posicionarse como referente regional en gobernanza blockchain, siempre que mantenga una visión estratégica basada en ética digital, transparencia y confianza institucional.

## Referencias

Ahmed, M. S. (2024). Blockchain para una inteligencia artificial segura y descentralizada en ciberseguridad: una revisión exhaustiva. *Blockchain: Investigación y Aplicaciones*, 5(3), 100193.

Andoni, M., Robu, V., Flynn, D., Abram, S., Geach, D., Jenkins, D., McCallum, P., & Peacock, A. (2019). Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 100, 143–174. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.10.014>

Bager, S. L., Singh, C., & Persson, U. M. (2022). Blockchain is not a silver bullet for agrofood supply chain sustainability: Insights from a coffee case study. *Current Research in Environmental Sustainability*, 4, 100163. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2022.100163>

Banco de la República. (2024). *Análisis preliminar sobre la viabilidad de una moneda digital colombiana (CBDC)*.

Bank for International Settlements (BIS). (2023). *Central Bank Digital Currencies: System design and implications*.

Deloitte. (2021). *Global Blockchain Survey 2021*.

Herazo-Narváez, M., Carrasquilla-Díaz, L., De Luque-Pisciotti, A., Guarín, A. F., Arrieta Barrios, T., & Gallego-Nicholls, J. F. (2022). Legal challenges for blockchain

implementation in Colombia. *Procedia Computer Science*, 210, 323–327.

<https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.11.113>

IBM. (2023). *Contratos inteligentes: definición y aplicaciones*. <https://www.ibm.com/es-es/topics/smart-contracts>

International Monetary Fund (IMF). (2022). *The rise of CBDCs: Opportunities, challenges, and implications for monetary policy*.

Metropolitano. (2023, marzo 15). Los contratos fantasma de la poderosa Juliana Guerrero con la UIS. <https://metropolitano.com.co/los-contratos-fantasma-de-lapoderosa-juliana-guerrero-con-la-uis/>

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones – MinTIC. (2020). *Guía de referencia para la adopción e implementación de proyectos con tecnología blockchain para el Estado colombiano*. Gobierno de Colombia. [https://gobiernodigital.mintic.gov.co/692/articles-161810\\_pdf](https://gobiernodigital.mintic.gov.co/692/articles-161810_pdf)

MinTIC. (2023). *Blockchain y monedas digitales: panorama de innovación financiera en Colombia*.

Mohammed, M. A., De-Pablos Heredero, C., & Montes Botella, J. L. (2025). Mapping the transformative realm of blockchain-enabled central bank digital currencies: A bibliometric analysis. *Eurasian Economic Review*. <https://doi.org/10.1007/s40822-024-00307-6>

Pizzi, S., Mariani, M., & Venturelli, A. (2024). Blockchain and sustainability in financial innovation: A bibliometric analysis. *Financial Innovation*, 10(1), 307. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40822-024-00307-6>

Ramírez López, L. J., Cárdenas Babativa, J. M., & Rojas Reales, W. M. (2022). Blockchain apply to the supply chain of essential medicines for the treatment of Covid-19 in

Colombia. *Informatics in Medicine Unlocked*, 33, 101100.

<https://doi.org/10.1016/j.imu.2022.101100>

Rojas, M. L. F., & Langer, P. (2024). Picking the juiciest cherries from the blockchain tree: Is the hype still alive? *International Journal of Law and Information Technology*, 32(2), 113–135. <https://doi.org/10.1093/ijlit/eaac022>

Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J., & Shen, L. (2019). Blockchain technology for improving supply chain transparency and trust. *Sustainability*, 11(18), 4950. <https://doi.org/10.3390/su11184950>

Superintendencia Financiera de Colombia. (2023). *Resultados del sandbox regulatorio “laArenera” en innovación financiera y blockchain*.

Triana Casallas, J., Cueva Lovelle, J., & Rodríguez Molano, J. (2020). Smart contracts with blockchain in the public sector. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 6(3), 63–72.

World Economic Forum. (2024). *Future of jobs report: Blockchain and digital trust skills in Latin America*.

Zabala-Vargas, S., Álvarez-Pizarro, Y., Sánchez-Galvis, I., & Rubio-Vásquez, K. (2024). Blockchain-based strategy to optimize certified notifications from government entities. *Administrative Sciences*, 14(9), 195. <https://doi.org/10.3390/admsci14090195>

Zhang, X., Chen, T., & Wang, Y. (2022). Blockchain adoption in financial systems: A systematic review. *arXiv preprint arXiv:2212.03790*. <https://arxiv.org/pdf/2212.03790>