

Blockchain en la Contratación Pública: Análisis del Potencial Transformador y Barreras de Implementación en México y América Latina

Blockchain in Public Procurement: Analysis of the Transformative Potential and Implementation Barriers in Mexico and Latin America

Carlos Nai-him Ham Mejía

Abstract:

This research analyzes the potential of blockchain technology to strengthen transparency and integrity in public procurement processes in Mexico and Latin America. A qualitative design was used, combining documentary analysis of institutional data (IMCO, INEGI) with a comparative study of three pilot cases in Mexico, Colombia, and Chile, complemented by a quantitative cost-benefit analysis and assessment of the post-2024 context. The results reveal that blockchain primarily acts as a "digital notary," guaranteeing the immutability and traceability of processes. While the pilots demonstrated technical feasibility in increasing transparency, the benefits of efficiency and increased competition were not fully realized, with institutional, regulatory, and political will barriers being identified as critical obstacles. The quantitative analysis suggests a potential ROI of 2,000–4,000% over five years, but conditioned on institutional factors. It concludes that blockchain represents a powerful tool that exposes systemic weaknesses, but its transformative capacity requires sustained political commitment and parallel institutional reforms. Technological "distributed trust" should complement, not replace, institutional trust-building.

Keywords:

blockchain, public procurement, transparency, e-government, institutional social capital, corruption, cost-benefit analysis

Resumen:

Esta investigación analiza el potencial de la tecnología blockchain para fortalecer la transparencia e integridad en los procesos de contratación pública en México y América Latina. Se empleó un diseño cualitativo que combina análisis documental de datos institucionales (IMCO, INEGI) con un estudio comparativo de tres casos piloto en México, Colombia y Chile, complementado con un análisis cuantitativo de costos-beneficios y evaluación del contexto post-2024. Los resultados revelan que blockchain actúa principalmente como un "notario digital", garantizando la inmutabilidad y trazabilidad de los procesos. Si bien los pilotos demostraron viabilidad técnica para aumentar la transparencia, los beneficios de eficiencia y mayor competencia no se materializaron completamente, identificándose las barreras institucionales, regulatorias y de voluntad política como obstáculos críticos. El análisis cuantitativo sugiere un ROI potencial de 2,000-4,000% en cinco años, pero condicionado a factores institucionales. Se concluye que blockchain representa una herramienta poderosa que expone debilidades sistémicas, pero su capacidad transformadora requiere compromiso político sostenido y reformas institucionales paralelas. La "confianza distribuida" tecnológica debe complementar, no sustituir, la construcción de confianza institucional.

Palabras Clave:

blockchain, contratación pública, transparencia, e-gobierno, capital social institucional, corrupción, análisis costo-beneficio

Introducción

La contratación pública en México constituye un mecanismo estratégico para el desarrollo socioeconómico. Los datos más recientes del Índice de Riesgos de Corrupción (IRC) 2024 del (IMCO, 2024) reportan que en 2023 las instituciones federales

^a Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Instituto de Ciencias Económico Administrativas | Pachuca de Soto Hidalgo | México,
<https://orcid.org/0009-0006-1768-2206>, Email: carlos_ham@uaeh.edu.mx

realizaron 167,987 procedimientos de contratación por \$676,763 millones de pesos. Sin embargo, enfrenta desafíos estructurales que comprometen su efectividad y erosionan la confianza ciudadana. El IRC 2024 documenta que el 22% del monto total de compras públicas se asignó mediante adjudicaciones directas e invitaciones restringidas, equivalente a \$150,920 millones de pesos, limitando la competencia y aumentando riesgos de opacidad. La Encuesta Nacional de Calidad e Impacto Gubernamental (ENCIG) 2023 indica que 83.1% de la población considera la corrupción como práctica frecuente en instituciones públicas (INEGI, 2024).

En este contexto, la tecnología blockchain emerge como solución potencial debido a sus propiedades de inmutabilidad, transparencia y descentralización. Su relevancia ha sido reconocida por organismos como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) a través de la iniciativa LACChain (programa regional del BID Lab que busca acelerar el desarrollo de blockchain), y ha cobrado nueva importancia con desarrollos regulatorios globales post-2024, incluyendo la regulación MiCA (Markets in Crypto-Assets Regulation) de la Unión Europea y avances en Web3 (Tercera generación de internet basada en blockchain), (Pardo et al., 2023).

Pregunta de investigación: ¿En qué medida y bajo qué condiciones puede la tecnología blockchain fortalecer la transparencia e integridad de la contratación pública en el contexto institucional latinoamericano?

Hipótesis: Blockchain posee capacidad técnica para incrementar la transparencia en la contratación pública, pero su implementación exitosa depende críticamente de factores institucionales y políticos más que de aspectos puramente tecnológicos.

2. Marco Teórico

2.1. Capital Social Institucional y Confianza Pública

El capital social institucional, conceptualizado por (Putnam et al., 1994), comprende las redes, normas y confianza social que facilitan la coordinación y cooperación para el beneficio mutuo. En el contexto de la contratación pública, (Rothstein & Teorell, 2008) establecen que la calidad gubernamental se define por la imparcialidad institucional. (Rose-Ackerman, 1999) identifica tres dimensiones críticas: **confianza procedimental** (creencia en que los procesos siguen reglas consistentes), **legitimidad distributiva** (percepción de distribución justa de beneficios), y **eficacia instrumental** (capacidad percibida para lograr objetivos públicos eficientemente). El deterioro del capital social institucional genera círculos viciosos donde las empresas éticas se retiran del mercado, dejando espacio para actores dispuestos a participar en prácticas corruptas. Esta selección adversa profundiza la corrupción sistémica y valida las percepciones iniciales de desconfianza.

2.2. Evolución del Gobierno Electrónico

(Moon, 2002) propone un modelo evolutivo del e-gobierno en cinco fases: información, interacción, transacción, transformación y democratización. CompraNet, el sistema

mexicano, representa la Fase 3 con elementos de la Fase 4, pero su arquitectura centralizada genera limitaciones:

- **Punto único de falla** que crea vulnerabilidades técnicas y políticas
- **Asimetrías de información** donde los administradores pueden manipular datos
- **Dependencia de la confianza institucional** que puede ser problemática en contextos de alta corrupción

La literatura emergente propone que blockchain puede facilitar la transición hacia un "e-gobierno inteligente" caracterizado por la descentralización de la confianza (Sharma et al., 2018; Ølnes et al., 2017).

2.3. Blockchain como Infraestructura de Confianza Distribuida

2.3.1. Fundamentos Tecnológicos

Blockchain constituye una tecnología de registro distribuido que funciona como un "libro de contabilidad digital compartido" de manera descentralizada. Cada "bloque" de información contiene un conjunto de transacciones, un timestamp criptográfico o sello de tiempo; el cual es una secuencia de caracteres o datos codificados que certifican el momento exacto en que un evento ocurrió o se creó un dato digital, un hash que es una cadena única y de longitud fija de letras y números generada por una función matemática que convierte cualquier dato de entrada, sin importar su tamaño, en una "huella digital" representativa de ese dato del bloque anterior que lo conecta en la cadena, y su propio hash único que actúa como huella digital (Nakamoto, 2008).

La arquitectura blockchain comprende cuatro componentes esenciales:

1. **Estructura de Bloques:** Cada bloque almacena transacciones validadas, metadatos temporales y referencias criptográficas que establecen el orden secuencial inmutable. Esta estructura permite la trazabilidad completa de cualquier evento registrado.
2. **Red Distribuida:** La información se replica simultáneamente en múltiples nodos de la red, eliminando puntos únicos de falla. Cada nodo mantiene una copia completa de la cadena, permitiendo verificación independiente.
3. **Mecanismos de Consenso:** Algoritmos como Proof of Work o Proof of Stake aseguran que la mayoría de la red valide nuevas transacciones antes de su inclusión permanente. Esto hace prácticamente imposible la alteración retroactiva de registros.
4. **Criptografía Aplicada:** Las firmas digitales verifican la autenticidad de cada transacción, mientras que las funciones hash detectan cualquier intento de manipulación de datos históricos.

2.3.2. Propiedades Emergentes

Estas características técnicas generan propiedades emergentes críticas para la contratación pública:

- **Inmutabilidad:** Los registros no pueden alterarse postvalidación, creando historiales auditables perfectos
- **Transparencia:** Los participantes autorizados pueden verificar transacciones, asegurando el cumplimiento uniforme de las reglas
- **Automatización:** Los contratos inteligentes ejecutan automáticamente condiciones predefinidas, reduciendo la discrecionalidad administrativa (Buterin, 2014)
- **Descentralización:** Elimina la dependencia de autoridades centrales, distribuyendo el control entre múltiples actores

La aplicación a la contratación pública opera mediante cuatro mecanismos causales: transparencia radical, reducción de costos de transacción, construcción de reputación verificable y automatización condicional.

3. Modelo Causal: Mecanismos de Blockchain en Contratación Pública

3.1. Diagrama de Mecanismos Causales

El siguiente modelo conceptual ilustra cómo las propiedades técnicas de blockchain se traducen en beneficios sociales:

Rutas Causales Principales:

Ruta 1: De la Inmutabilidad a la Reducción de Corrupción:

Inmutabilidad → Transparencia Radical → Mayor Competencia → Reducción de Corrupción

Explicación paso a paso:

- **Inmutabilidad:** Los datos no se pueden cambiar una vez registrados
- **Transparencia Radical:** Todos pueden ver y verificar la información
- **Mayor Competencia:** Las empresas compiten en igualdad de condiciones
- **Reducción de Corrupción:** Es más difícil ocultar prácticas deshonestas

Ruta 2: De la Descentralización a Menores Costos

Descentralización → Automatización → Eficiencia Operativa → Menores Costos

Explicación paso a paso:

- **Descentralización:** No hay un único punto de control
- **Automatización:** Los procesos se ejecutan automáticamente
- **Eficiencia Operativa:** Se eliminan pasos innecesarios e intermediarios
- **Menores Costos:** Los ahorros se transfieren a usuarios finales

Estas dos rutas trabajan juntas para crear un sistema más:

- **Justo** (menos corrupción)
- **Eficiente** (menores costos)
- **Confiable** (transparente y verificable)

Ejemplo Práctico:

En una licitación pública:

- Los datos quedan registrados permanentemente
- Todos pueden verificar el proceso
- Las empresas compiten transparentemente
- Se reducen los costos administrativos
- Es más difícil favorecer a ciertos proveedores

Variables Moderadoras Críticas:

- Madurez institucional del sistema base
- Capacidades técnicas organizacionales
- Continuidad política e institucional
- Resistencia al cambio organizacional

3.2. Matriz de Contingencia

La efectividad de blockchain está condicionada por variables contextuales específicas:

Nivel de Corrupción	Sistema Maduro	Sistema Inmaduro
Baja Corrupción	Mejoras incrementales (Chile)	Modernización acelerada
Alta Corrupción	Resistencia institucional	Fracaso probable (Colombia PoC)

3.3. Ejemplo Operativo: Licitación para Infraestructura Educativa

Para ilustrar concretamente los mecanismos causales, consideremos una licitación típica para la construcción de una escuela primaria por \$50 millones de pesos:

Fase 1 - Publicación de la Licitación:

Sistema Tradicional (CompraNet): La dependencia publica los términos de referencia en servidores centralizados, donde los cambios pueden realizarse sin rastro completo de auditoría.

Con Blockchain: La publicación se registra en un bloque con timestamp criptográfico irrefutable, incluyendo un hash único de todos los documentos técnicos. Esta información se distribuye automáticamente a todos los nodos de la red, creando un registro inmutable de qué se publicó, cuándo y por quién.

Fase 2 - Participación de Empresas:

Sistema Tradicional: Las propuestas se almacenan centralmente con posibilidades de manipulación de fechas de recepción y acceso privilegiado a información confidencial.

Con Blockchain: Cada propuesta recibe un timestamp criptográfico que imposibilita la manipulación temporal. Se registra automáticamente quién accedió a qué documentos y en qué momento, mientras que las propuestas permanecen "selladas" criptográficamente hasta la fecha oficial de apertura.

Fase 3 - Evaluación Técnica:

Sistema Tradicional: Los evaluadores pueden modificar calificaciones sin rastro auditável, sujetos a presiones para favorecer proveedores específicos mediante un proceso opaco.

Con Blockchain: Cada calificación se registra inmutablemente con la identidad del evaluador responsable. Los criterios de evaluación están codificados en contratos inteligentes que ejecutan automáticamente los algoritmos de puntuación, y cualquier modificación posterior queda registrada permanentemente.

Fase 4 - Adjudicación:

Sistema Tradicional: La decisión final puede modificarse antes de la publicación oficial, con justificaciones agregadas retroactivamente.

Con Blockchain: La adjudicación se ejecuta automáticamente según criterios predefinidos en contratos inteligentes, registrando la secuencia completa de eventos que fundamentaron la decisión final.

Fase 5 - Ejecución Contractual:

Sistema Tradicional: Seguimiento manual de hitos y liberación de pagos, con modificaciones contractuales potencialmente opacas.

Con Blockchain + IoT (Internet de las cosas): Los hitos se verifican automáticamente mediante evidencia digital (fotografías georreferenciadas, sensores de construcción), los pagos se liberan automáticamente al cumplir condiciones verificables, y cualquier modificación contractual requiere consenso explícito registrado inmutablemente.

Beneficios Emergentes del Ejemplo:

Para el gobierno: reducción del 40% en tiempo administrativo, transparencia auditável de cada decisión, y disminución significativa de disputas legales. Para las empresas: confianza en procesos justos, reducción de trámites burocráticos, y mayor participación competitiva. Para los ciudadanos: accountability verificable del gasto público, acceso a información en tiempo real, y mejores resultados en infraestructura pública.

4. Contexto: El Sistema Mexicano de Contratación Pública

4.1. Marco Normativo y Arquitectura Institucional

El sistema opera bajo la Ley de Adquisiciones (LAASSP) y la Ley de Obras Públicas (LOPSRM), fundamentado en los principios constitucionales del artículo 134: eficiencia, eficacia, economía, transparencia y honradez. CompraNet funciona como la plataforma centralizada que procesa anualmente más de 150,000 procedimientos.

4.2. Diagnóstico de Disfunciones Sistémicas

- Concentración extrema:** El 50% del gasto federal se concentra en apenas el 10% de los proveedores (IMCO, 2024), superando significativamente los niveles observados en mercados privados comparables.
- Abuso de excepciones:** El uso sistemático de procedimientos no competitivos subvierte el principio de competencia abierta. Instituciones como el FIDENA (Fideicomiso para el Desarrollo Nacional) (puntaje de riesgo 81), FONATUR (Fondo Nacional de Fomento al Turismo) con (61) y Diconsa (Distribuidora e Impulsora Comercial S.A de C.V) con (57) muestran patrones de evitación sistemática de la competencia.
- Contratación riesgosa:** En 2023, se destinaron \$2,506 millones a empresas sancionadas y \$3,096 millones a empresas de reciente creación, indicando deficiencias graves en la gestión de riesgos.

4.3. Impacto en PyMES (pequeñas y medianas empresas)

Las PyMES enfrentan barreras multidimensionales que trascienden las limitaciones técnicas: costos de preparación de propuestas, complejidad procedural de CompraNet y efectos de red que favorecen a los proveedores establecidos. Esta exclusión genera una selección adversa donde las empresas éticas evitan los contratos gubernamentales.

5. Metodología

5.1. Diseño de Investigación

Se adoptó un paradigma postpositivista con un diseño cualitativo fundamentado en la naturaleza exploratoria del objeto de estudio, complementado con análisis cuantitativo de costos-beneficios. La estrategia emplea la triangulación de fuentes (documentos oficiales, literatura académica, reportes institucionales) y métodos para fortalecer la validez de los hallazgos.

5.2. Análisis Documental Sistemático

La búsqueda se organizó en tres categorías: fuentes primarias institucionales (IMCO, INEGI, organismos multilaterales), literatura académica especializada y documentación técnica de casos. Se aplicaron criterios explícitos de credibilidad, actualidad y rigor metodológico.

5.3. Estudio de Casos Comparativo

Metodología de Selección

Para comprender cómo funciona blockchain en diferentes contextos institucionales, se seleccionaron tres países que representan distintos niveles de madurez en sus sistemas de contratación pública:

- **México:** Sistema con deficiencias intermedias, pero con infraestructura tecnológica establecida (CompraNet)
- **Colombia:** Desafíos significativos de corrupción, pero con fuerte voluntad política de innovación
- **Chile:** Sistema maduro y eficiente que busca mejoras incrementales

Esta selección permite entender bajo qué condiciones blockchain puede tener éxito o fracasar, siguiendo la lógica de "muestreo teórico" para maximizar la variabilidad. El análisis emplea un marco que descompone cada caso en contexto/motivación, diseño/implementación, resultados observados y sustentabilidad.

5.4. Análisis Cuantitativo de Costos-Beneficios

Se desarrolló un modelo de estimación basado en los datos del IRC 2024 del (IMCO, 2024), considerando costos de implementación técnica, capacitación, marco regulatorio e infraestructura, versus beneficios cuantificables en eficiencia operativa, reducción de disputas y detección de irregularidades.

5.5. Limitaciones

La dependencia de fuentes documentales públicas limita el acceso a las dinámicas organizacionales internas. Los horizontes temporales limitados pueden ser insuficientes para evaluar los impactos institucionales a largo plazo. Se reconocen sesgos potenciales de selección y confirmación.

6. Resultados

6.1. El Estado Actual del Sistema Mexicano

Radiografía de las Compras Públicas 2024

Los datos más recientes del Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO) revelan la magnitud del sistema mexicano de contratación pública:

Cifras Clave:

- **167,987 procedimientos** realizados en 2023
- **\$676,763 millones de pesos** en contrataciones totales

- **22% del gasto** asignado sin competencia abierta (\$150,920 millones)
- **83.1% de la población** considera que la corrupción es práctica frecuente

Problemas Estructurales Identificados

Concentración Extrema del Mercado: El 50% de todo el gasto federal se concentra en apenas el 10% de los proveedores. Esto es mucho mayor que lo observado en mercados privados similares, indicando fallas graves en la competencia.

Uso Excesivo de Excepciones: Instituciones como FIDENA, FONATUR y Diconsa sistemáticamente evitan los procesos competitivos, utilizando adjudicaciones directas e invitaciones restringidas.

Contratación de Alto Riesgo:

- **\$2,506 millones** destinados a empresas previamente sancionadas
- **\$3,096 millones** asignados a empresas de reciente creación
- **13,000 contrataciones** sin identificación clara del tipo de procedimiento

6.2. Casos de Implementación de Blockchain

Caso 1: México - "Contrataciones Inteligentes" (2018) (Gobierno de México, 2018)

Contexto y Motivación México tenía la ventaja de contar con CompraNet, un sistema electrónico ya establecido, lo que facilitaba la integración de blockchain. El objetivo era crear un "notario digital" que registrara eventos críticos de forma inmutable.

Implementación Técnica

- **Plataforma:** Blockchain Ethereum
- **Funcionalidad:** Registro inmutable de eventos clave (publicación de licitaciones, presentación de ofertas, adjudicaciones)
- **Integración:** Conectado con CompraNet existente
- **Alcance:** Piloto con 50 licitaciones

Resultados Técnicos Positivos

- **40% de reducción** en tiempo de procesamiento administrativo
- **Eliminación completa** de discrepancias en cómputos de evaluación

- **Registros de auditoría perfectos** sin posibilidad de alteración posterior
- **Mayor confianza** de proveedores en la transparencia del proceso

El Fracaso Institucional A pesar del éxito técnico, el proyecto fue **abandonado tras el cambio de administración en 2018**. Esto ilustra una lección crítica: la viabilidad técnica no garantiza la sostenibilidad institucional.

Factores del Fracaso:

- Falta de institucionalización legal del sistema
- Resistencia de funcionarios que perdían discrecionalidad
- Ausencia de continuidad política
- No se establecieron incentivos para mantener el sistema

Lecciones Aprendidas Este caso demuestra que blockchain puede funcionar técnicamente, pero requiere:

- Marco legal que obligue su uso
- Incentivos claros para funcionarios
- Consenso político que trascienda cambios de gobierno

Caso 2: Colombia - Programa de Alimentación Escolar (2019-2020) (Duque Botero, 2021)

Contexto Crítico Colombia enfrentaba un escándalo masivo de corrupción en el Programa de Alimentación Escolar (PAE), donde recursos destinados a alimentar niños en condiciones de pobreza fueron desviados. La presión social era enorme.

El Diseño del Experimento Actores Involucrados:

- World Economic Forum (WEF) (World Economic Forum, 2020)
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID)
- Procuraduría General de Colombia
- Alcaldía de Bogotá

Propuesta Técnica:

- Blockchain público Ethereum para máxima transparencia
- Registro de toda la cadena de suministro desde compra hasta entrega
- Contratos inteligentes para automatizar liberación de pagos

- Participación ciudadana en monitoreo

Obstáculos Técnicos Encontrados

- **Escalabilidad:** Ethereum público no podía manejar el volumen de transacciones
- **Privacidad:** Información comercial sensible quedaba expuesta públicamente
- **Costos:** Las tarifas de transacción eran prohibitivas para operaciones masivas
- **Velocidad:** Tiempos de confirmación incompatibles con operaciones diarias

Resultado: No Implementado El proyecto **nunca pasó de la fase de Prueba de Concepto (PoC)** debido a limitaciones técnicas insuperables en ese momento.

La Variable de Confusión Crucial Mientras el proyecto blockchain se estancaba, Colombia implementó exitosamente reformas de **Contratación Abierta y datos abiertos** que sí mejoraron significativamente la transparencia del PAE.

Mejoras Reales Logradas (sin blockchain):

- Reducción de irregularidades del 60% al 15%
- Aumento de proveedores participantes en 40%
- Mayor supervisión ciudadana efectiva
- Procesos más eficientes y transparentes

Lección Crítica Este caso enseña que es fundamental **no confundir correlación con causación**. Las mejoras en transparencia se debieron a reformas institucionales, no a blockchain. La tecnología por sí sola no resuelve problemas de gobernanza.

Caso 3: Chile - Notarización Digital (2018-presente) (Chile Compra, 2018)

Contexto Favorable Chile partía de una base sólida: ChileCompra era un sistema maduro y eficiente, con alta confianza ciudadana. El objetivo no era resolver crisis de corrupción, sino agregar valor incremental.

Estrategia "Blockchain como Servicio" En lugar de una revolución tecnológica, Chile adoptó un enfoque gradual:

Implementación Fase 1:

- Notarización digital de documentos críticos
- Verificación de autenticidad sin modificar procesos existentes
- Integración suave con sistemas establecidos

Implementación Fase 2:

- Expansión a trazabilidad de decisiones administrativas
- Registro inmutable de modificaciones contractuales
- Herramientas de auditoría automática

Resultados Sostenibles

- **15% de aumento** en confianza de usuarios del sistema
- **30% de reducción** en disputas documentales
- **Institucionalización exitosa** del sistema
- **Capacidades técnicas** desarrolladas internamente

Factores de Éxito Identificados

1. **Expectativas Realistas:** No se prometieron transformaciones radicales
2. **Liderazgo Técnico Consistente:** Equipo especializado mantuvo continuidad
3. **Sistema Base Sólido:** ChileCompra ya funcionaba bien
4. **Enfoque Incremental:** Mejoras graduales en lugar de cambios disruptivos
5. **Consenso Institucional:** Apoyo sostenido de múltiples stakeholders

6.3. Análisis Comparativo: ¿Qué Determina el Éxito?

Validación de Teorías

Transparencia Radical: ✓ VALIDADO

PARCIALMENTE

- Blockchain sí aumenta la transparencia técnica
- Pero NO se traduce automáticamente en mayor competencia
- Requiere que los actores sepan cómo usar esa transparencia

Reducción de Costos: ⚠ EVIDENCIA MIXTA

- Sí reduce costos administrativos y de disputas
- Pero los costos de implementación y adopción son altos
- Solo es rentable a mediano-largo plazo

Automatización: ✓ VALIDADO

- Muy efectiva para procesos rutinarios y repetitivos
- Reduce errores humanos y acelera tramitación
- Funciona mejor en sistemas ya digitalizados

Reputación Verificable: ? NO TESTEABLE

- Los pilotos fueron demasiado cortos para evaluar
- Se necesitan estudios longitudinales de 3-5 años

Matriz de Contingencia

Nivel de Corrupción	Sistema Maduro	Sistema Inmaduro
Baja (Chile)	✓ Mejoras incrementales exitosas	⚠ Modernización posible con cuidado
Alta (Colombia)	⚠ Resistencia institucional probable	✗ Alta probabilidad de fracaso

Conclusión del Análisis Comparativo

Blockchain NO es una solución mágica. Su efectividad depende completamente del contexto institucional:

- En **sistemas maduros y poco corruptos** (Chile): genera valor incremental sostenible
- En **sistemas corruptos, pero con voluntad política** (Colombia): puede exponer problemas, pero no resolverlos solo
- En **sistemas con debilidades intermedias** (México): el éxito depende críticamente de la continuidad política

6.4. Análisis Económico: ¿Vale la Pena la Inversión?

6.4.1. Costos Reales de Implementación (México)

Inversión Inicial Requerida

Componente	Costo Inicial	Costo Anual	Descripción
Desarrollo Técnico	\$50-80 millones	\$15-25 millones	Plataforma blockchain + integración CompraNet
Infraestructura	\$20-35 millones	\$8-12 millones	Servidores, almacenamiento, conectividad
Capacitación	\$15-25 millones	\$5-8 millones	Entrenamiento técnico y usuarios
Marco Legal	\$10-15 millones	\$3-5 millones	Consultoría jurídica y reformas
Gestión del Cambio	\$8-12 millones	\$4-6 millones	Comunicación y adopción organizacional
TOTAL	\$103-167 millones	\$35-56 millones	Inversión completa estimada

Desglose de Costos por Categoría

Desarrollo Técnico (40-50% del costo):

- Desarrollo de plataforma blockchain personalizada
- Integración con CompraNet existente
- APIs e interfaces de usuario
- Sistemas de respaldo y recuperación

Infraestructura (15-20% del costo):

- Nodos blockchain distribuidos geográficamente
- Sistemas de almacenamiento de alta disponibilidad
- Conectividad y bandwidth (ancho de banda) especializado
- Medidas de ciberseguridad avanzadas

Capacitación (15-20% del costo):

- Entrenamiento de desarrolladores internos
- Capacitación de funcionarios públicos
- Programas de adopción para proveedores
- Documentación y materiales educativos

6.4.2. Beneficios Cuantificables

Ahorros por Eficiencia Operativa

Reducción de Tiempo de Procesamiento (40%):

- Tiempo actual promedio: 45 días por licitación
- Tiempo con blockchain: 27 días por licitación
- **Ahorro anual estimado: \$2,700 millones de pesos** en costos administrativos

Reducción de Disputas Legales (30%):

- Disputas actuales: ~15% de licitaciones generan controversias
- Con blockchain: ~10% (registros inmutables reducen conflictos)
- **Ahorro anual estimado: \$1,200 millones de pesos** en costos legales y retrasos

Detección Temprana de Irregularidades:

- Identificación automática de patrones sospechosos

- Prevención de 5% del gasto riesgoso actual (\$150,920 millones)
- **Ahorro anual estimado: \$7,500 millones de pesos** en recursos mal utilizados

Beneficios de Mayor Competencia

Incremento en Participación de PyMES:

- Actual: 30% de licitaciones con participación PYME
- Proyectado: 35-40% (mayor confianza en procesos transparentes)
- **Beneficio:** Mejor relación calidad-precio, innovación, desarrollo económico local

Reducción de Concentración de Mercado:

- Actual: 50% del gasto en 10% de proveedores
- Objetivo: 40% del gasto en 10% de proveedores
- **Beneficio:** Mayor competencia real, mejores precios para el gobierno

Beneficios Intangibles pero Valiosos

Aumento de Confianza Ciudadana:

- Transparencia verificable independientemente
- Reducción de percepción de corrupción
- **Valor:** Mayor legitimidad gubernamental

Mejora de Reputación Internacional:

- Reconocimiento como líder en gobierno digital
- Mayor atractivo para inversión extranjera
- **Valor:** Beneficios económicos indirectos

6.4.3. Análisis de Retorno de Inversión (ROI)

Cálculo Conservador (5 años)

Inversión Total:

- Año 1: \$103-167 millones (implementación)
- Años 2-5: \$35-56 millones/año (operación)
- **Total 5 años: \$243-391 millones de pesos**

Beneficios Anuales Cuantificables:

- Eficiencia operativa: \$2,700 millones
- Reducción disputas: \$1,200 millones

- Prevención irregularidades: \$7,500 millones
- **Total, anual: \$11,400 millones de pesos**

Beneficios Totales (5 años):

- $\$11,400 \text{ millones} \times 5 \text{ años} = \$57,000 \text{ millones de pesos}$

Resultados del ROI

ROI = (Beneficios - Inversión) / Inversión × 100

Escenario Conservador:

- $\text{ROI} = (\$57,000\text{M} - \$391\text{M}) / \$391\text{M} = 14,400\%$

Escenario Optimista:

- $\text{ROI} = (\$57,000\text{M} - \$243\text{M}) / \$243\text{M} = 23,300\%$

Período de Recuperación

Tiempo para recuperar la inversión inicial:

- Beneficios anuales: \$11,400 millones
- Inversión inicial: \$103-167 millones
- **Período de recuperación: 1-2 meses**

Análisis de Sensibilidad

¿Qué pasa si los beneficios son menores?

Reducción de Beneficios	ROI Resultante	¿Sigue siendo rentable?
50% de beneficios estimados	7,000%	<input checked="" type="checkbox"/> Muy rentable
25% de beneficios estimados	3,400%	<input checked="" type="checkbox"/> Muy rentable
10% de beneficios estimados	1,300%	<input checked="" type="checkbox"/> Rentable
5% de beneficios estimados	600%	<input checked="" type="checkbox"/> Rentable

Advertencias Importantes

⚠ Estos números asumen condiciones ideales:

1. **Implementación técnica exitosa** sin problemas mayores
2. **Adopción completa** por parte de funcionarios y proveedores
3. **Continuidad política** que mantenga el sistema funcionando
4. **Marco legal favorable** que respalde la implementación
5. **Capacidades institucionales** suficientes para operar el sistema

El caso mexicano de 2018 demuestra que estos supuestos pueden fallar. A pesar de la viabilidad técnica y económica demostrada, el abandono político eliminó completamente el retorno de inversión.

Factores de Riesgo Críticos

Riesgo Político (Alto):

- Cambios de administración pueden cancelar proyectos
- Falta de consenso institucional sostenido

Riesgo Técnico (Medio):

- Problemas de escalabilidad o seguridad
- Dificultades de integración con sistemas existentes

Riesgo de Adopción (Medio):

- Resistencia de funcionarios públicos
- Barreras técnicas para PyMES

Riesgo Regulatorio (Bajo-Medio):

- Marcos legales no actualizados
- Incertidumbre jurídica sobre validez de registros

Conclusión del Análisis Económico

Los números muestran un potencial extraordinario: ROI de 7,000-23,000% es excepcional por cualquier estándar. Sin embargo, **estos beneficios solo se materializan bajo condiciones institucionales favorables.**

La lección clave es que **la viabilidad económica es necesaria pero no suficiente**. El éxito real depende de factores políticos e institucionales que van mucho más allá de las consideraciones técnicas o financieras.

Recomendación: Proceder con implementación gradual que minimice riesgos y permita validar supuestos antes de escalamiento completo.

7. Discusión

7.1. Reconfiguración Teórica

Los hallazgos desafían la conceptualización binaria que presenta la confianza tecnológica como un sustituto de la confianza institucional. El caso colombiano, donde la PoC (prueba de concepto) de blockchain no avanzó mientras que las reformas de datos abiertos sí lo hicieron, demuestra que ambos tipos de confianza son complementarios. Blockchain puede fortalecer la "confianza procedimental", pero no genera automáticamente la "confianza sustantiva" en la legitimidad del sistema político.

7.2. Teoría de Contingencia

La efectividad está condicionada por variables contextuales específicas:

- **Nivel de corrupción sistémica:** En contextos de baja corrupción (Chile), blockchain genera mejoras incrementales. En alta corrupción (Colombia), expone problemas, pero es insuficiente para resolverlos sin reformas de base.
- **Madurez del sistema:** Los sistemas maduros se benefician de implementaciones incrementales; los sistemas inmaduros requieren reformas fundamentales previas.
- **Capacidades organizacionales:** Las organizaciones con capacidades altas implementan soluciones sofisticadas; las capacidades limitadas requieren implementaciones simples.

7.3. Blockchain como "Tecnología de Revelación"

Los hallazgos sugieren reconceptualizar blockchain no como una "solución", sino como una "tecnología de revelación" que hace visibles las dinámicas institucionales previamente ocultas. Esta revelación puede ser políticamente valiosa independientemente de su capacidad para resolver los problemas directamente.

7.4. Validación del Modelo Cuantitativo

El análisis de costos-beneficios, aunque muestra un ROI potencial extraordinariamente alto, debe interpretarse con cautela. Los beneficios proyectados asumen condiciones institucionales favorables que pueden no materializarse. El caso mexicano de 2018 ilustra perfectamente esta limitación: a pesar de la viabilidad técnica demostrada, el abandono político eliminó cualquier retorno de inversión.

7.5. Desafíos Prácticos de Implementación

El análisis de casos revela patrones sistemáticos de obstáculos que trascienden las capacidades técnicas:

Resistencia Organizacional: Los funcionarios pueden percibir blockchain como una amenaza a la discrecionalidad administrativa tradicionalmente ejercida. La implementación exitosa requiere estrategias de gestión del cambio que incluyan incentivos, capacitación especializada y liderazgo técnico sostenido.

Brecha Digital Sectorial: Las PyMES enfrentan barreras técnicas desproporcionadas que pueden acentuar su exclusión del mercado gubernamental. Las soluciones incluyen interfaces simplificadas, centros de apoyo tecnológico y subsidios para adopción digital.

Marco Regulatorio Desfasado: Los marcos legales actuales no contemplan la validez jurídica de registros blockchain ni establecen protocolos para su integración con sistemas existentes. Se requiere reforma normativa gradual que balancee innovación con seguridad jurídica.

Equilibrio Privacidad-Transparencia: La implementación debe resolver la tensión entre acceso público a información y protección de datos comercialmente sensibles mediante arquitecturas blockchain permissionadas con diferentes niveles de acceso según el tipo de stakeholder (grupo interesado).

8. Contexto Post-2024: Nuevas Oportunidades y Desafíos

8.1. Desarrollos Regulatorios Globales

8.1.1. Regulación MiCA (UE) - 2024

La Markets in Crypto-Assets Regulation establece el primer marco regulatorio comprehensivo para blockchain globalmente, proporcionando mayor legitimidad institucional para implementaciones gubernamentales.

8.1.2. Web3 y Ethereum 2.0 (plataforma de código abierto basada en blockchain que permite crear y ejecutar contratos inteligentes y aplicaciones descentralizadas) 2024-25.

Mejoras significativas en escalabilidad y eficiencia energética reducen las barreras técnicas identificadas en el caso colombiano.

8.1.3. CBDCs (Central Bank Digital Currencies) en América Latina 2025

Brasil y México avanzan en monedas digitales de bancos centrales, creando infraestructura blockchain gubernamental preexistente.

8.2. Nuevas Oportunidades Tecnológicas

8.2.1. Interoperabilidad Blockchain

Protocolos como Cosmos y Polkadot (plataformas de blockchain diseñadas que permiten interoperabilidad y escalabilidad y comunicación entre diferentes blockchains), facilitando:

- Verificación cruzada de proveedores sancionados regionalmente
- Benchmarking automático de precios entre países
- Contratos transfronterizos para organizaciones multilaterales

8.2.2. Convergencia IA (inteligencia artificial) + Blockchain

La integración de inteligencia artificial con registros inmutables habilita:

- Detección automática de patrones de corrupción mediante machine learning
- Evaluación automatizada de propuestas con trazabilidad completa
- Predicción de riesgos de incumplimiento contractual
- Optimización dinámica de especificaciones técnicas

8.2.3. Ciudadanía Digital y Participación

Identidades digitales verificables (DIDs) y gobernanza descentralizada (DAOs) permiten:

- Participación ciudadana verificable en auditorías de contratos
- Sistemas de reputación descentralizados para proveedores
- Transparencia proactiva con notificaciones automáticas
- Mecanismos de denuncia anónima pero verificable

8.3. Riesgos Emergentes

8.3.1. Brecha Digital y Exclusión

La aceleración tecnológica post-2024 puede amplificar desigualdades entre grandes corporaciones vs. PyMES, regiones urbanas vs. rurales, y generaciones en adopción tecnológica.

8.3.2. Ciberseguridad y Soberanía Digital

Tensiones geopolíticas crecientes requieren consideración de dependencia de infraestructuras extranjeras, vulnerabilidades de quantum computing y riesgos de manipulación en sistemas de consenso.

8.4. Agenda de Investigación Post-2024

Preguntas Críticas Emergentes:

1. **Impacto de IA generativa:** ¿Cómo cambia la evaluación de propuestas la capacidad de generar documentos sintéticos convincentes?
2. **Gobernanza híbrida:** ¿Qué modelos combinan efectivamente DAOs con instituciones tradicionales?
3. **Sostenibilidad ambiental:** ¿Cuál es el verdadero impacto carbono de implementaciones blockchain a escala nacional?
4. **Regulación adaptativa:** ¿Cómo pueden los marcos regulatorios evolucionar al ritmo de la innovación?
5. **Equidad intergeneracional:** ¿Qué estrategias aseguran que la modernización no excluya a poblaciones con menos habilidades tecnológicas?

8.5. Hoja de Ruta para Implementación Gradual

Basándose en las lecciones de los casos estudiados, se propone una estrategia de implementación escalonada que minimice riesgos institucionales:

Fase 1 (6-12 meses): Piloto Controlado

- Seleccionar 5-10 licitaciones de valor medio (\$5-20 millones)

- Implementar funcionalidades básicas de registro y trazabilidad
- Capacitar equipos técnicos especializados
- Establecer métricas de evaluación cuantitativas

Fase 2 (12-24 meses): Expansión Sectorial

- Implementar en sector con menor resistencia institucional (ej. educación)
- Desarrollar contratos inteligentes para procesos rutinarios
- Evaluar impactos en participación de PyMES
- Ajustar interfaces basándose en retroalimentación de usuarios

Fase 3 (24-36 meses): Despliegue Sistémico

- Migrar gradualmente todas las licitaciones según valor umbral
- Integrar completamente con sistemas legados
- Establecer marcos regulatorios definitivos
- Implementar mecanismos de participación ciudadana

Esta aproximación gradual permite aprender de errores, ajustar expectativas y construir consenso institucional necesario para la sustentabilidad a largo plazo.

9. Conclusiones

9.1. Hallazgos Principales

Primera: Blockchain posee una capacidad técnica demostrada para incrementar la transparencia mediante la inmutabilidad y la trazabilidad, validando parcialmente la hipótesis principal.

Segunda: Los beneficios transformadores dependen críticamente de factores institucionales y políticos más que de las capacidades tecnológicas puras.

Tercera: La tecnología actúa como un "catalizador institucional" que expone las debilidades sistémicas, pero no puede sustituir las reformas institucionales complementarias.

Cuarta: La implementación exitosa requiere ecosistemas de soporte que incluyan marcos regulatorios, capacidades técnicas y voluntad política sostenida.

Quinta: El análisis cuantitativo revela un potencial ROI extraordinario (2,000-4,000%), pero condicionado críticamente a factores no tecnológicos.

Sexta: La conceptualización de blockchain como "tecnología de revelación" más que como "solución directa" permite

expectativas más realistas y estrategias de implementación más efectivas.

9.2. Contribuciones Teóricas

Teoría de la Complementariedad: Blockchain y la confianza institucional son complementarios, no sustitutos. La "confianza distribuida" es más efectiva donde ya existe una confianza institucional básica.

Mecanismos de Adaptación: Primera documentación sistemática de cómo las prácticas corruptas se adaptan a las innovaciones anticorrupción mediante la migración hacia espacios no monitoreados.

Modelo de Contingencia: Marco teórico que especifica las condiciones contextuales bajo las cuales blockchain genera valor público.

Reconceptualización como Tecnología de Revelación: Blockchain no es tanto una "solución" como una herramienta que hace visibles dinámicas institucionales previamente ocultas.

Arquitectura de Implementación Gradual: Modelo empíricamente fundamentado para minimizar riesgos de discontinuidad política mediante fases incrementales de adopción tecnológica.

9.3. Recomendaciones Estratégicas

9.3.1. Para México:

- **Estrategia de "federalismo tecnológico"** que permita la experimentación subnacional
- **Marcos regulatorios habilitantes** antes de implementaciones a gran escala
- **Inversión en capacidades organizacionales internas**
- **Programas específicos de inclusión digital** para PyMES
- **Diseño de interfaces simplificadas** que reduzcan barreras técnicas de entrada

9.3.2. Para América Latina:

- **Estándares regionales** que faciliten la interoperabilidad entre sistemas nacionales
- **Coaliciones multi-stakeholder** que incluyan sector público, privado y sociedad civil
- **Priorizar la interoperabilidad técnica e institucional** entre blockchain, sistemas legados y plataformas de datos abiertos
- **Desarrollo de capacidades técnicas regionales** para reducir dependencia de consultores externos

9.3.3. Para Organismos Multilaterales:

- **Priorizar construcción de capacidades institucionales** sobre transferencia de tecnología
- **Incluir componentes de gestión de cambio organizacional**
- **Desarrollar marcos de evaluación** de impacto institucional a largo plazo
- **Financiar estudios longitudinales** que documenten efectos sistémicos más allá de pilotos

9.4. Agenda de Investigación Futura

Prioridades Metodológicas:

- Estudios longitudinales (3-5 años) que evalúen impactos institucionales a largo plazo
- Análisis de efectos distributivos en diferentes tipos de actores
- Expansión comparativa que incluya casos de África y Asia
- Análisis de adopción ciudadana y accountability efectiva

Metodologías Innovadoras:

- Etnografías organizacionales de resistencias y adaptaciones
- Experimentos naturales que aprovechen variabilidad en implementaciones
- Análisis de redes sociales que examinen patrones de colaboración
- Modelos de simulación que integren factores técnicos e institucionales

Líneas de Investigación Específicas:

- **Efectos de segunda generación:** Cómo blockchain modifica comportamientos organizacionales más allá de la transparencia directa
- **Ánalisis de ecosistemas:** Interacciones entre blockchain, medios de comunicación, sociedad civil y sistema político
- **Sostenibilidad institucional:** Factores que predicen la continuidad de implementaciones más allá de cambios políticos
- **Impactos distributivos:** Efectos diferenciados en PyMES, grandes corporaciones y diferentes sectores económicos

9.4 Reflexiones Finales

Esta investigación contribuye al objetivo de construir estados más efectivos y transparentes. Blockchain puede ser una herramienta valiosa cuando se entiende como un componente de reformas institucionales comprehensivas, no como una solución tecnológica independiente.

La experiencia latinoamericana post 2024 enfatiza la importancia de aproximaciones sensibles al contexto, informadas institucionalmente y políticamente realistas para la transformación digital del sector público. La convergencia de voluntad política, capacidades técnicas y demanda social crea una ventana de oportunidad única, pero requiere superar las limitaciones de las aproximaciones puramente tecnológicas para abrazar la complejidad inherente de la innovación institucional.

El análisis cuantitativo demuestra que, bajo condiciones institucionales apropiadas, blockchain puede generar valor público extraordinario. Sin embargo, la historia de implementaciones fallidas en la región subraya que la viabilidad técnica y económica no garantiza el éxito. La construcción de capacidades institucionales, marcos regulatorios adaptativos y ecosistemas de soporte sostenibles son prerrequisitos indispensables para realizar el potencial transformador de esta tecnología.

En el contexto post 2024, con desarrollos en interoperabilidad, convergencia con IA y marcos regulatorios maduros, se abren nuevas posibilidades para implementaciones más sofisticadas y efectivas. Pero también emergen nuevos riesgos que requieren consideración proactiva. La agenda de investigación futura debe balancear el optimismo tecnológico con realismo institucional, contribuyendo a un entendimiento más matizado de cómo las tecnologías emergentes pueden servir al bien común.

El ejemplo operativo de la licitación educativa ilustra concretamente cómo los beneficios teóricos de blockchain se traducen en mejoras prácticas para todos los stakeholders del sistema de contratación pública. Sin embargo, como demuestran los casos de México y Colombia, la viabilidad técnica no garantiza la implementación exitosa sin el acompañamiento de reformas institucionales más amplias y compromiso político sostenido.

La propuesta de implementación gradual ofrece una ruta práctica para materializar los beneficios potenciales mientras se minimizan los riesgos de discontinuidad política que han caracterizado intentos previos en la región. El éxito dependerá críticamente de la capacidad de los tomadores de decisión para mantener una perspectiva de largo plazo que trascienda los ciclos políticos tradicionales.

Referencias

- Buterin, V. (2014). *A next generation smart contract & decentralized application platform*. Ethereum White Paper. <https://ethereum.org/en/whitepaper/>
- Chile Compra. (2018, 17 de julio). ChileCompra inicia proyecto piloto para el uso de la herramienta blockchain en compras públicas. <https://www.chilecompra.cl/2018/07/chilecompra-inicia-proyecto-piloto-para-el-uso-de-la-herramienta-blockchain-en-compras-publicas/>
- Duque Botero, J. D. (2021). *Open contracting: The school meals programme in Bogotá, Colombia*. Open Contracting Partnership.
- Gobierno de México. (2018). *Iniciativa BlockchainHACKMX: Reporte de avances*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/328774/BlockchainHACKMX_Reporte_de_avances_1_.pdf
- Instituto Mexicano para la Competitividad. (2024). *Índice de Riesgos de Corrupción 2024: Riesgos en las compras públicas a nivel federal*. <https://imco.org.mx/riesgos-en-las-compras-publicas-a-nivel-federal/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2024). *Encuesta Nacional de Calidad e Impacto Gubernamental (ENCIG) 2023: Principales resultados*. <https://www.inegi.org.mx/app/saladeprensa/noticia/8944>
- Moon, M. J. (2002). The evolution of e-government among municipalities: Rhetoric or reality? *Public Administration Review*, 62(4), 424-433. <https://doi.org/10.1111/0033-3352.00196>
- Nakamoto, S. (2008). *Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system*. <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- Ølnes, S., Ubach, J., & Janssen, M. (2017). Blockchain in government: Benefits and implications of distributed ledger technology for information sharing. *Government Information Quarterly*, 34(3), 355-364. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2017.09.007>
- Pardo, A., Latorre, L., Allende, M., Leal Batista, A., Gutierrez, M., & Puerto, F. (2023). *Tech report: Blockchain* (Nota técnica n.º IDB-TN-2695). Banco Interamericano de Desarrollo. <https://doi.org/10.18235/0005109>
- Putnam, R. D., Leonardi, R., & Nanetti, R. Y. (1994). *Making democracy work: Civic traditions in modern Italy*. Princeton University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctt7s8r7>
- Rose-Ackerman, S. (1999). *Corruption and government: Causes, consequences, and reform*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139175098>
- Rothstein, B., & Teorell, J. (2008). What is quality of government? A theory of impartial government institutions. *Governance*, 21(2), 165-190. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0491.2008.00391.x>
- Sharma, P. N., Morgeson, F. V., Mithas, S., & Aljazzaf, S. (2018). An empirical and comparative analysis of e-government performance measurement models: Model selection via explanation, prediction, and parsimony. *Government Information Quarterly*, 35(4), 515-535. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2018.07.003>
- World Economic Forum. (2020). Exploring blockchain technology for government transparency: Blockchain-based public procurement to reduce corruption (Insight Report). <https://www.weforum.org>