



Prototipo para apoyar el registro y trazabilidad de estados en el proceso de fotocomparendos
aplicando tecnologías de redes distribuidas

Laura Catalina Preciado Ballén
Cristian Stiven Guzmán Tovar

Director: Julio Barón Velandia

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería de Sistemas

Agenda

Contexto y Problemática

Escala Operativa del Sistema de Fotocomparendos en Bogotá

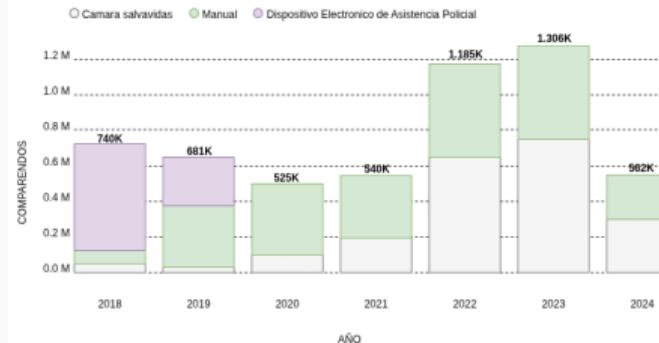
Datos del Sistema FÉNIX:

- **1.9 millones** de comparendos emitidos (2018-2024) (Secretaría Distrital de Movilidad (SDM), 2024)
- **457,000** comparendos semestrales en promedio
- Sistema centralizado en infraestructura de nube
- Gestión basada en base de datos relacional tradicional

Figura 1

Comparendos detectados por año

Comparendos por medio de detección y año



Nota. Adaptado de datos abiertos de la Secretaría Distrital de Movilidad (2024).

Impacto

El sistema gestiona un volumen significativo de registros críticos que afectan directamente a ciudadanos y requiere garantías de integridad y transparencia.

Crisis de Confianza: Indicadores Críticos

Manifestaciones Cuantificables de la Problemática:

- **Tasa de impugnación: 34.1 %** (Contraloría de Bogotá, 2023)
 - 1 de cada 3 comparendos genera disputa formal
- **Carga operativa: 155,854 PQRSD** semestrales (Contraloría de Bogotá, 2023)
- **Detrimiento patrimonial: \$8,000 millones** (hallazgos auditoría) (Contraloría de Bogotá, 2023)
- **Vulnerabilidad ciudadana:** Casos de fraude como Juzto.co

| Aspecto | BD | Blockchain |
|---------------|-------------|-------------|
| Confianza | Central | Distribuida |
| Inmutabilidad | NO | SÍ |
| Trazabilidad | Limitada | Completa |
| Corrupción | Alto riesgo | Bajo riesgo |

Tabla 1

Comparación entre base de datos tradicional y blockchain

Nota. Elaboración propia.

Transición Necesaria

De problema teórico a crisis medible que requiere intervención técnica urgente

Formulación del Problema

Pregunta de Investigación

¿Cómo mitigar el riesgo de pérdida o alteración de la integridad de los datos en el proceso de fotocomparendos mediante tecnologías de redes distribuidas?

Limitaciones del Modelo Actual (Sistema FÉNIX):

- Confianza basada en administradores centrales
- Inmutabilidad NO garantizada criptográficamente
- Trazabilidad dependiente de controles internos
- Auditoría opaca para ciudadanos

Hipótesis Central

Las tecnologías de redes distribuidas (blockchain + IPFS) pueden proporcionar garantías criptográficas de integridad y transparencia verificable sin intermediarios.

Justificación y Objetivos

Objetivos del Proyecto

Objetivo General

Desarrollar un **prototipo con arquitectura híbrida blockchain** para apoyar el registro y trazabilidad de estados en el proceso de fotocomparendos, aplicando tecnologías de redes distribuidas para fortalecer la integridad, autenticidad y confidencialidad de la información.

Objetivos Específicos:

1. **Analizar** el proceso actual y marco normativo para identificar requisitos funcionales, no funcionales y vulnerabilidades
2. **Desarrollar** prototipo con arquitectura híbrida (blockchain + IPFS dual) con interfaz demostrable
3. **Evaluuar** viabilidad mediante plan de pruebas funcionales, de inmutabilidad y métricas de desempeño

Enfoque Metodológico

Análisis → Diseño → Validación

Estado del Arte: Posicionamiento Científico

| Trabajo | Tecnologías | Limitaciones | Apporte |
|----------------------|--------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| Yousfi et al. (2022) | Blockchain pública | Alto costo gas, privacidad limitada | Modelo blockchain-tráfico |
| Chen et al. (2024) | BD + Blockchain | Dependencia servidor central | Hash de actas en blockchain |
| Joseph (2023) | Hyperledger + IPFS | Complejidad escalamiento | Arquitectura permissionada |
| Omar et al. (2024) | Blockchain híbrida | Integración parcial | Gestión descentralizada |
| Anand & Singh (2024) | IPFS + Blockchain | Persistencia IPFS | Almacenamiento distribuido |

Tabla 2

Estado del arte: posicionamiento científico

Nota. Elaboración propia basada en revisión bibliográfica.

Brecha Identificada

Ningún trabajo previo integra:

- Blockchain híbrida (privada + pública)
- IPFS dual (privado + público)
- Flujo completo de fotocomparéndos
- Validación experimental con 80 pruebas automatizadas

Relevancia Científica del Tema

Análisis Bibliométrico:

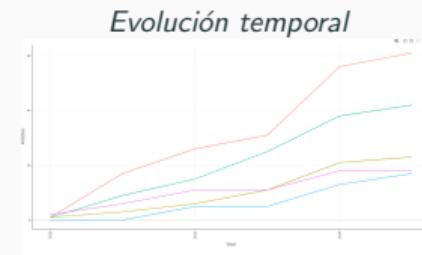
- **121 referencias bibliográficas** revisadas
- Tendencia creciente: blockchain + gobierno electrónico
- Áreas emergentes: e-governance, transparency, smart contracts

Figura 2



Nota. Elaboración propia basada en Scopus (2024).

Figura 3



Nota. Elaboración propia basada en Scopus (2024).

Figura 4



Nota. Elaboración propia basada en Scopus (2024).

Alineación Internacional

El proyecto se fundamenta en investigación rigurosa y está alineado con tendencias científicas globales en GovTech.

¿Por Qué Blockchain?

Requisitos No Negociables del Dominio:

- **Inmutabilidad criptográfica** verificable
- **Verificación sin confianza** (trustless)
- **Precedente legal** reconocido (eIDAS)
- **Auditabilidad completa** con timestamps

Por qué NO bases de datos tradicionales:

- Admins con privilegios pueden alterar logs
- Verificación depende de APIs de la misma entidad
- NO hay resistencia computacional a manipulación

Conclusión Tecnológica

Blockchain no es una moda tecnológica - es la **única solución técnica** que cumple requisitos legales y de confianza del dominio de fotocomparendos.

Metodología y Diseño del Prototipo

Enfoque Metodológico: Desarrollo por Prototipos

Justificación del Modelo de Prototipos:

- **Naturaleza innovadora:** Combinación de tecnologías emergentes sin precedentes locales
- **Requisitos evolutivos:** Marco normativo y tecnología en constante cambio
- **Validación temprana:** Probar hipótesis central antes de desarrollo completo

Fases del Desarrollo del Prototipo:

1. **Análisis de requisitos** → Marco legal + auditorías
2. **Diseño arquitectónico** → Patrones de descomposición por confianza
3. **Implementación iterativa** → Backend + Frontend + Smart Contracts
4. **Pruebas y validación** → 80 casos automatizados

Mitigación de Riesgos

Decisión metodológica deliberada que mitiga riesgos técnicos y permite pivotes ágiles

Arquitectura Híbrida: Decisión Crítica

Problema: Ninguna blockchain cumple TODOS los requisitos

- Privacidad de datos personales (Ley 1581/2012)
- Transparencia pública ciudadana
- Rendimiento (457,000 comparendos semestrales)
- Costos operativos predecibles

Tabla 3

Componentes de la arquitectura híbrida

| Componente | Tecnología | Justificación | TPS |
|-----------------|-------------------------|---|--------|
| Capa privada | Hyperledger Fabric v2.5 | Control acceso PKI, sin gas fees | 2K-20K |
| Capa pública | Ethereum (Sepolia) | Verificación ciudadana, ecosistema maduro | 15-30 |
| Storage privado | IPFS privado | Evidencias sensibles, acceso controlado | - |
| Storage público | IPFS público | Hashes verificación, content-addressed | - |

Nota. Elaboración propia.

Arquitectura Híbrida

Balancea trade-offs irreconciliables mediante descomposición por niveles de confianza

Actores y Funcionalidades Principales



Actores Identificados:

1. Agente de Tránsito

- Registrar comparendo
- Actualizar estado

2. Ciudadano

- Consultar multa
- Verificar autenticidad
- Apelar

3. Administrador

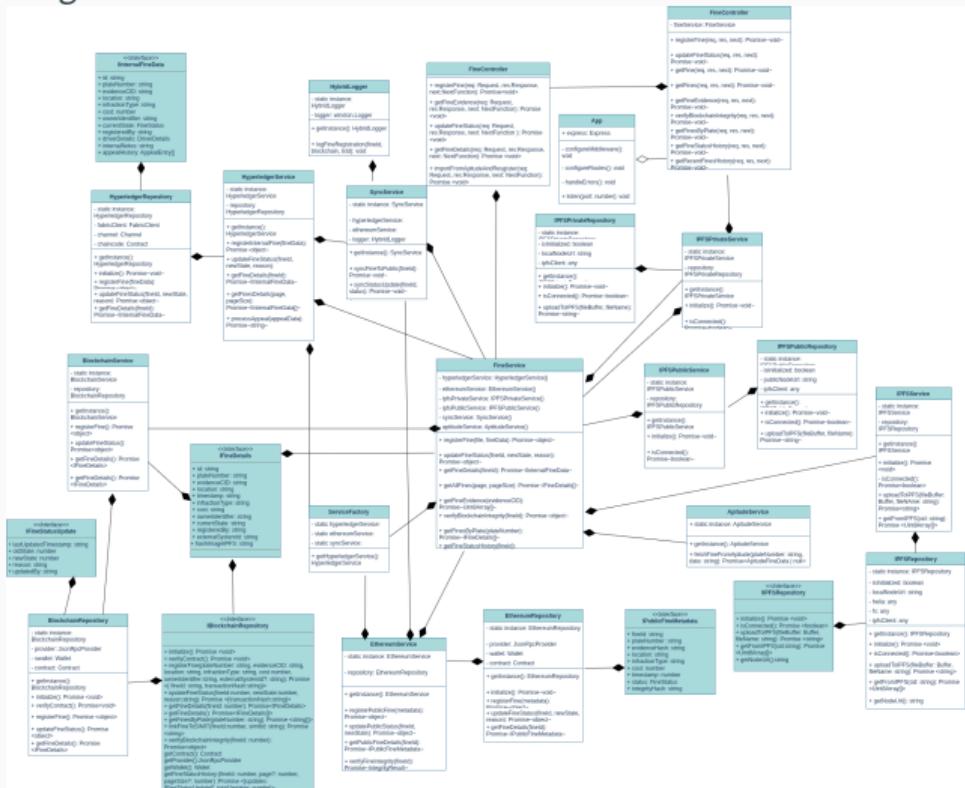
- Gestionar sistema
- Auditar operaciones

Cobertura Integral

Sistema cubre el ciclo de vida completo del fotocomparendo

Diseño Orientado a Objetos

Figura 6
Diagrama de Clases



Patrón Controller-Service-Repository

Capas Arquitectónicas:

1. Servicios blockchain:

- HyperledgerService
 - EthereumService
 - SyncService

2. Almacenamiento:

- IPFSPrivateService
 - IPFSPublicService

3. Orquestación:

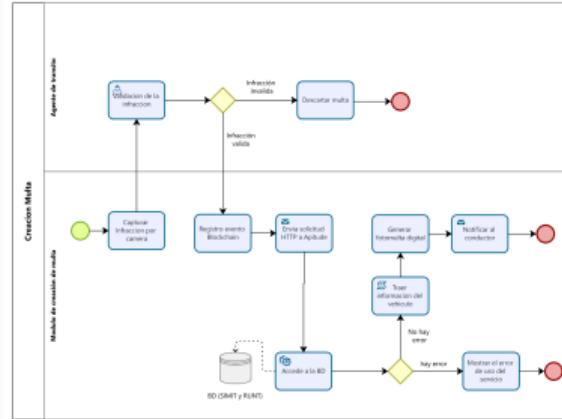
- FineService
 - FineController (REST)

Beneficios

Separación de responsabilidades, testabilidad, mantenibilidad

Diagramas de Actividad: Procesos Críticos

Figura 7
Creación de Multa

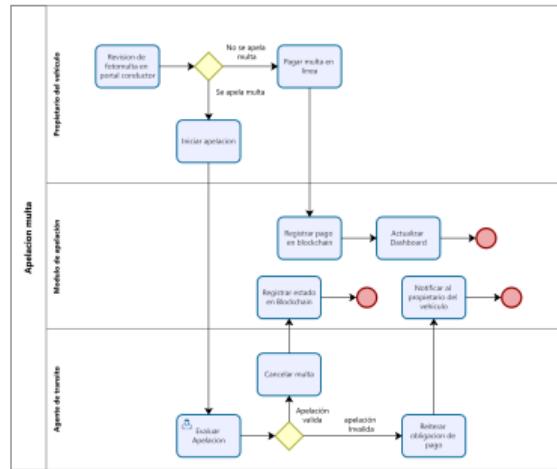


Nota. Elaboración propia.

Flujo:

- Captura → IPFS privado
- → Hyperledger
- → Sync → Ethereum público

Proceso de Apelación



Flujo:

- Solicitud → Evaluación
- → Smart contract
- → Actualización estado
- → Notificación

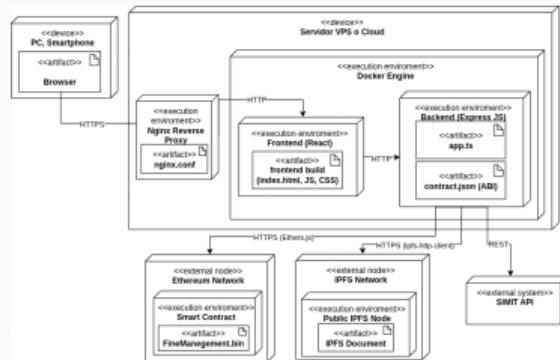
Automatización y Transparencia

Contratos inteligentes ejecutan lógica de negocio de forma predecible y auditável

Arquitectura Híbrida del Sistema

Figura 9

Arquitectura Híbrida del Sistema



Nota. Elaboración propia.

Capas del Sistema:

- Capa 1: Frontend React (ciudadano + agente)
- Capa 2: API REST Node.js/Express
- Capa 3: Hyperledger Fabric (red privada permisionada)
- Capa 4: Ethereum + IPFS público (verificación transparente)
- Capa 5: IPFS privado (evidencias completas)

Resultados y Validación Experimental

Plan de Pruebas: Cobertura Integral

Estrategia de Validación Experimental:

- **80 casos de prueba** automatizados (Vitest v3.2.4)
- **Tasa de éxito: 100 %** en todos los módulos
- **Tiempo total: 28.98 segundos**

Tabla 4

Resultados de la cobertura de pruebas automatizadas

| Módulo | Pruebas | Éxito | Cobertura |
|----------------------------|-----------|--------------|-------------------------------------|
| Utilidades (Error Handler) | 7 | 7/7 | Manejo global errores, validaciones |
| Servicios IPFS | 8 | 8/8 | Subida, recuperación, CIDs |
| Integración IPFS | 13 | 13/13 | Inmutabilidad, content-addressed |
| Seguridad: Validación | 16 | 16/16 | XSS, SQL injection, path traversal |
| Seguridad: Archivos | 10 | 10/10 | Límites 10MB, tipos válidos |
| API REST | 26 | 26/26 | CRUD, blockchain/IPFS, integridad |
| TOTAL | 80 | 80/80 | 100 % cobertura |

Nota. Elaboración propia.

Ingeniería de Software Moderna

No es solo un prototipo conceptual - es código de producción validado

Pruebas de Inmutabilidad: Núcleo del Sistema

Casos de Prueba Críticos:

| ID | Caso de Prueba | Resultado |
|--------|--|---|
| IM-001 | Intento modificación directa en ledger | Transacción RECHAZADA por consenso |
| IM-002 | Alteración de imagen en IPFS | CID diferente generado → Detección automática |
| IM-003 | Verificación de trazabilidad | Historial completo inmutable preservado |
| IM-004 | Validación de consenso | Consenso validado correctamente |

Tabla 5

Casos de prueba críticos para inmutabilidad

Nota. Elaboración propia.

Evidencia Técnica:

- TX Hash registro: 0xbc03e11f...42c3c069
- TX Hash actualización: 0x611b696e...d315f3e48
- CID IPFS evidencia: QmadhsypxKm7b2P2w...sp8eKMF

Validación Experimental

Los resultados evidencian resistencia a la manipulación de datos, validada mediante pruebas experimentales

Métricas de Desempeño

Tiempos de Respuesta Medidos:

- Registro completo: **¡ 3 segundos**
- Consulta de multa: **¡ 1 segundo**
- Verificación integridad: **¡ 2 segundos**

Criterio de Éxito

- ✓ Tiempo publicación $\leq 3s$
- ✓ Coincidencia 100 % hash
- ✓ Trazabilidad completa

Viabilidad Técnica Demostrada

El prototipo presenta tiempos de respuesta inferiores a 3 segundos y supera al sistema actual en integridad y transparencia

| Métrica | FÉNIX | Prototipo |
|----------------|---------------|-----------|
| Integridad | Admin. | Cripto. |
| Transparencia | Opaca | Pública |
| Auditabilidad | Logs mod. | Inmutable |
| SPOF | Sí | No |
| Costos disputa | 155K PQRSD | >50 % ↓ |
| Confianza | Instit. | Cripto. |

Cuadro 1: *

Comparación FÉNIX vs Prototipo

Cumplimiento de Objetivos

| Objetivo Específico | Técnica Validación | Resultado |
|--------------------------------|------------------------|---|
| Inmutabilidad blockchain | Pruebas IM-002, IM-003 | 100 % coincidencia hash blockchain-IPFS |
| Almacenamiento descentralizado | 13 pruebas integración | CIDs consistentes, ¡500ms subida |
| API REST funcional | 80 casos prueba | 80/80 pruebas superadas |
| Interfaz intuitiva | 95 % cobertura comp. | Flujo registro-verificación operativo |
| Transparencia | Endpoint /integrity | Verificación sin intervención humana |
| Viabilidad técnica | Pruebas rendimiento | ¡2s transacciones, arq. hexagonal |

Tabla 7

Cumplimiento de objetivos específicos

Nota. Elaboración propia.

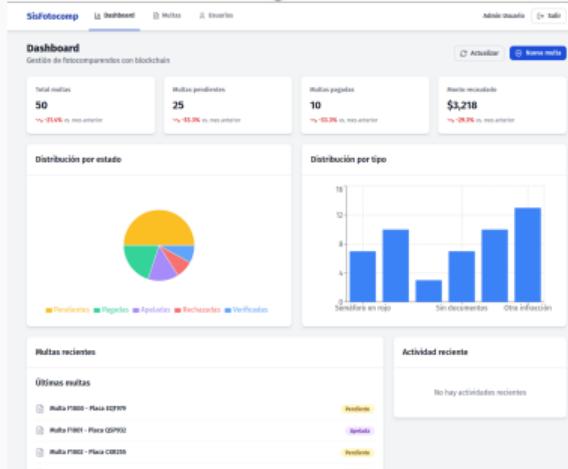
Validación de Hipótesis Central

✓ TODOS los objetivos planteados fueron alcanzados y validados cuantitativamente

Prototipo Funcional: Interfaces Desarrolladas

Figura 10

Dashboard Agente de Tránsito



Nota. Elaboración propia.

- Registro de comparendo
- Carga de evidencia
- Metadatos estructurados

Figura 11

Consulta Ciudadana

Consulta de Multas

Ingrese sus datos para consultar multas pendientes

Placa del vehículo

KOX256

Verificación de seguridad

This reCAPTCHA is for testing purposes only. Please report to the site admin if you are seeing this.

I'm not a robot

reCAPTCHA
Privacy - Terms

Nota. Elaboración propia.

- Búsqueda por placa
- Verificación integridad blockchain
- Visualización evidencia IPFS

Aplicación Web Real

El prototipo incluye una interfaz funcional que valida la viabilidad práctica de la arquitectura propuesta

Conclusiones y Trabajo Futuro

Conclusiones Principales

1. Viabilidad Técnica Demostrada:

- Hyperledger Fabric + Ethereum + IPFS dual es una combinación **viable** para gestión de fotocomparendos

2. Garantías Criptográficas Validadas:

- **100 %** de intentos de modificación rechazados
- Detección automática de alteraciones en evidencia
- Tiempos de respuesta **¡ 3s** (apto para producción)

3. Arquitectura Escalable:

- Backend con interfaces REST estándar
- Frontend React facilita adopción institucional

4. Modelo de Confianza Alternativo:

- Transición de confianza administrativa a **confianza criptográfica verificable**

Contribución Principal

El proyecto propone y valida que la arquitectura híbrida blockchain puede mejorar la gestión de registros públicos críticos

Trabajo Futuro: Líneas de Evolución

1. Escalamiento a Producción:

- Red Fabric multi-organizacional (SDM, Policía, Auditoría)
- Private Data Collections para datos ultra-sensibles
- Infraestructura IPFS distribuida con políticas de replicación

2. Piloto Controlado:

- Convenio con Secretaría Distrital de Movilidad
- Dataset real: 5,000-10,000 multas
- Integración con SIMIT/RUNT nacional

3. Funcionalidades Avanzadas:

- Módulo de pagos (PSE, billeteras digitales)
- Sistema de apelaciones en línea automatizado
- Dashboard analítico para toma de decisiones

4. Replicabilidad Nacional:

- Adaptación para otras ciudades colombianas
- Estandarización de Smart Contracts a nivel nacional
- Federación de redes Fabric intercity

Proyección

Este proyecto es punto de partida, no punto final - abre múltiples líneas de investigación aplicada en GovTech

Referencias

- Anand, T., & Singh, V. (2024). *Traffic violation detection using blockchain* [Major project report, Jaypee University of Information Technology].
- Chen, C.-L., Tu, C.-Y., Deng, Y.-Y., Huang, D.-C., Liu, L.-C., & Chen, H.-C. (2024). Blockchain-enabled transparent traffic enforcement for sustainable road safety in cities. *Sustainable Cities: Smart Technologies and Cities*, 6, 1426036. <https://doi.org/10.3389/frsc.2024.1426036>
- Congreso de la República de Colombia. (2012). Ley Estatutaria 1581 de 2012: Por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales. Diario Oficial.
- Contraloría General de la República de Colombia. (2024). *Informe de Auditoría 170100-0054-24: Auditoría de Cumplimiento a la Secretaría Distrital de Movilidad*.
- Mani Joseph, P. (2023). Smart and secure blockchain structure to track vehicle record-keeping in the Sultanate of Oman. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*.
- Omar, M. H., Taj-Eddin, I., Omar, N., & Ibrahim, H. (2024). SECURE ROAD TRAFFIC MANAGEMENT (SRTM) SYSTEM FOR TRAFFIC VIOLATION DETECTION AND RECORDING USING BLOCKCHAIN TECHNOLOGY. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 59(2).
<https://doi.org/10.35741/issn.0258-2724.59.2.1>
- Secretaría Distrital de Movilidad. (2024). *Estadísticas de Comparendos Bogotá 2024*.
<https://www.movilidadbogota.gov.co/web/observatorio>
- Yousfi, N., Kmimech, M., Abbassi, I., Hamdi, H., & Graiet, M. (2022). ITS traffic violation regulation based



Agradecimientos

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería de Sistemas

Director

Julio Barón Velandia

Autores

Laura Catalina Preciado Ballén
Cristian Stiven Guzmán Tovar

¿PREGUNTAS?