



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 formulación del problema

Objetivos

Metodología e implementación

Validación y pruebas

Conclusiones y aportes

Trabajo futuro

## **Contexto y formulación del problema**

---

# Contexto: el sistema de fotocomparendos en Bogotá

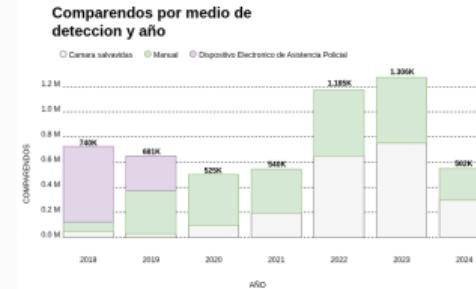
## Escala operativa (Sistema FÉNIX):

- **1.9 millones** de comparendos emitidos entre 2018–2024 ([sdm2024estadisticas](#))
- **457,000** comparendos semestrales en promedio
- Arquitectura centralizada (BD relacional)

## Indicadores de la problemática:

- Tasa de impugnación: **34.1 %**
- Carga operativa: **155,854 PQRSD** semestrales

**Figura 1**  
*Comparendos emitidos por semestre*



Fuente: Secretaría Distrital de Movilidad (2024).

- Presunto detrimento patrimonial: **\$8,000 millones** ([contraloria2024detrimento](#))
- Vulnerabilidad ciudadana ante fraudes ([semana2023juzto](#))

# Formulación del problema

## Pregunta de investigación

*¿Cómo mitigar el riesgo de pérdida o alteración de la integridad de los datos asociados a todos los estados en el proceso de fotocomparendos en Bogotá mediante el uso de tecnologías de redes distribuidas que garanticen el registro, la trazabilidad, la autenticidad y la confidencialidad de la información?*

**Limitaciones del modelo actual (FÉNIX):** confianza en administradores centrales, inmutabilidad no garantizada criptográficamente, trazabilidad dependiente de controles internos, auditoría opaca para la ciudadanía.

## Hipótesis

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

## Objetivos

---

# Objetivo general

## Objetivo general

Desarrollar un prototipo software tecnológico que facilite el registro y la trazabilidad de los estados en el proceso de fotocomparendos en Bogotá, mediante la aplicación de tecnologías de redes distribuidas, para el fortalecimiento de la integridad y autenticidad de la información reduciendo los riesgos asociados a su confidencialidad.

## Objetivos específicos

1. **Analizar** el proceso actual de registro de fotocomparendos a partir del marco jurídico, regulatorio e informes de auditoría, para identificar vulnerabilidades, requisitos funcionales y no funcionales.
2. **Desarrollar** un prototipo con arquitectura híbrida basado en blockchain permisionado (Hyperledger Fabric) y blockchain público (Ethereum), integrando almacenamiento distribuido mediante IPFS.
3. **Evaluar** la viabilidad técnica y funcional mediante un plan de pruebas que incluya inmutabilidad, trazabilidad, rendimiento y verificación de integridad de documentos.

## **Metodología e implementación**

---

# Enfoque metodológico: desarrollo por prototipos

## Justificación del modelo:

- **Naturaleza exploratoria:** integración de tecnologías emergentes sin antecedentes en el contexto local
- **Requisitos evolutivos:** marco normativo y tecnológico en constante actualización
- **Verificación temprana:** contrastar la hipótesis central antes de un desarrollo a escala

## Fases del desarrollo:

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

## Decisión metodológica

El modelo de prototipos permite mitigar riesgos técnicos y facilitar ajustes iterativos ante cambios normativos o tecnológicos.

# Arquitectura híbrida: decisión de diseño

**Problema:** ninguna plataforma blockchain individual satisface todos los requisitos.

- Privacidad de datos personales (Ley 1581/2012)
- Transparencia pública ciudadana (Ley 1712/2014)
- Rendimiento (457,000 comparendos semestrales)
- Costos operativos predecibles

**Tabla 1**

*Componentes de la arquitectura híbrida*

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

Fuente: Elaboración propia.

# Actores y funcionalidades principales

Figura 1

Diagrama de casos de uso



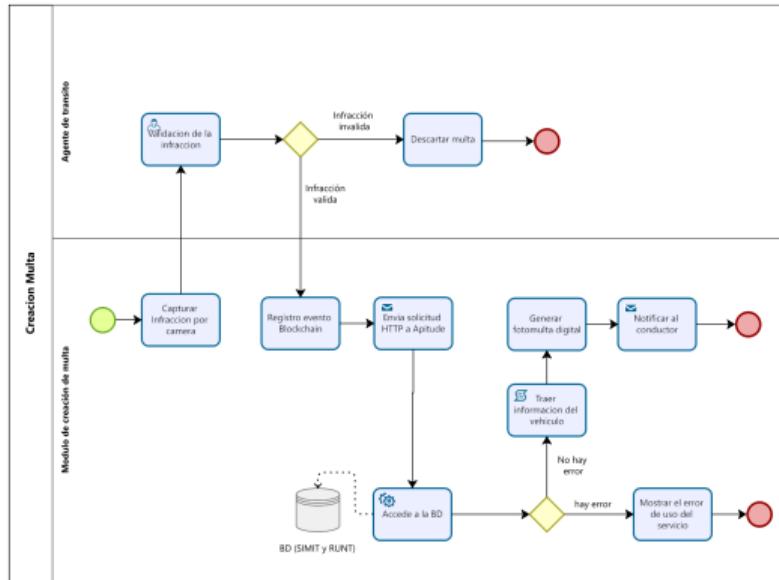
Fuente: Elaboración propia.

## Actores identificados:

- 1. Agente de tránsito**
  - Registrar comparendo
  - Actualizar estado
- 2. Ciudadano**
  - Consultar multa
  - Verificar autenticidad
  - Apelar
- 3. Administrador**
  - Gestionar sistema
  - Auditar operaciones

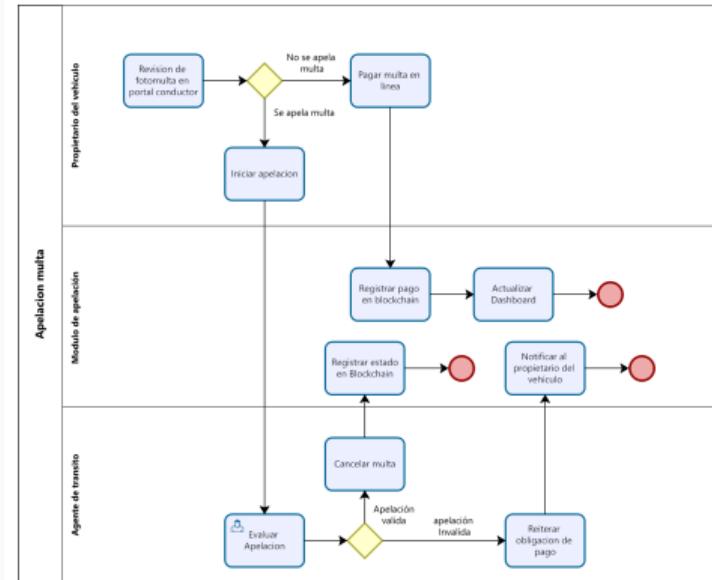
# Flujos de proceso: diagramas de actividades

**Figura 2**  
*Registro de multa*



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3**  
*Proceso de apelación*

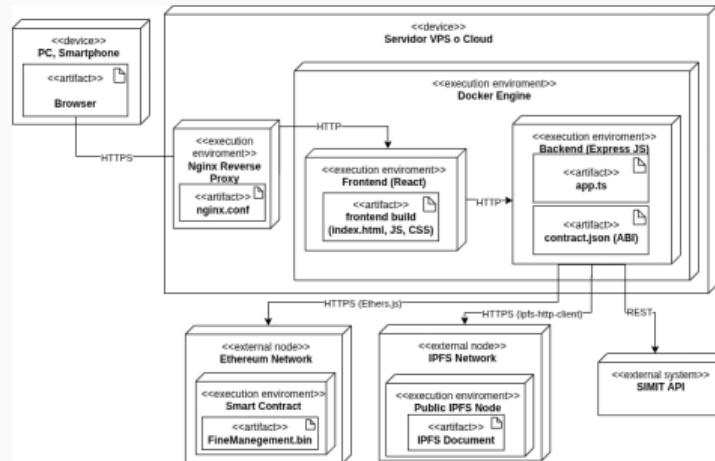


Fuente: Elaboración propia.

# Arquitectura del sistema

Figura 4

Diagrama de despliegue del sistema



Fuente: Elaboración propia.

**Capas:** 1. Frontend React — 2. API REST Node.js/Express — 3. Hyperledger Fabric — 4. Ethereum + IPFS público — 5. IPFS privado

# Alcance y delimitaciones del estudio

## Delimitaciones metodológicas del prototipo:

- **Datos sintéticos:** la verificación se realizó con datos generados mediante scripts de prueba, dado que no se dispone de acceso a datos reales del FÉNIX, RUNT ni SIMIT.
- **Cobertura parcial de estados:** se implementaron 5 de los 8 estados del ciclo de vida (PENDING, PAID, APPEALED, RESOLVED\_APPEAL, CANCELLED).
- **Volumen controlado:** se emplearon entre 50 y 100 comparendos de prueba, frente a los 457,000 semestrales registrados en producción.
- **Verificación técnica:** los resultados corresponden a una *verificación* en entorno controlado, no a una *validación* operativa institucional.

### Nota metodológica

Se distingue entre *verificación* (el sistema cumple las especificaciones de diseño) y *validación* (el sistema opera adecuadamente en condiciones reales). Este trabajo se enmarca en la primera categoría.

## Validación y pruebas

---

# Plan de pruebas: cobertura del prototipo

Estrategia: 80 casos de prueba automatizados (Vitest v3.2.4) — Tasa de éxito: 100 % —  
Tiempo total: 28.98s

Tabla 1

*Resultados del plan de pruebas por módulo*

Módulo	Pruebas	Éxito	Cobertura
Utilidades (Error Handler)	7	7/7	Manejo global de errores
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
<b>Total</b>	<b>80</b>	<b>80/80</b>	<b>100 % cobertura funcional</b>

Fuente: Elaboración propia.

# Pruebas de inmutabilidad

Tabla 2

*Resultados de pruebas de inmutabilidad*

ID	Caso de prueba	Resultado
IM-001	Modificación directa en ledger	Transacción rechazada por consenso
IM-002	Alteración de imagen en IPFS	CID diferente → Detección automática
IM-003	Verificación de trazabilidad	Historial inmutable preservado
IM-004	Validación de consenso	Consenso validado correctamente

Fuente: Elaboración propia.

**Evidencia técnica:** TX Hash registro: 0xbc03e11f...42c3c069 — TX Hash actualización:  
0x611b696e...d315f3e48 — CID IPFS: QmadhsypxKm7b2P2w...sp8eKMF

## Resultado

En el entorno experimental, el prototipo rechazó satisfactoriamente el 100 % de los intentos de modificación no autorizada.

# Métricas de desempeño

## Tiempos de respuesta medidos:

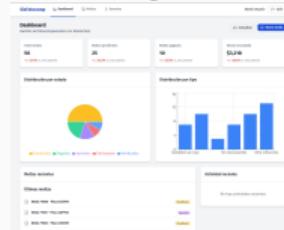
- Registro completo: < 3 segundos
- Consulta de multa: < 1 segundo
- Verificación de integridad: < 2 segundos

## Criterios de éxito

- ✓ Tiempo de publicación  $\leq 3s$
- ✓ Coincidencia 100 % hash
- ✓ Trazabilidad completa en entorno de prueba

Figura 1

Dashboard del agente de tránsito



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2

Consulta y verificación ciudadana

A screenshot of a web page titled 'Consulta de Multas'. It shows a search bar with 'Placa del vehículo: K32256' and a button 'Consultar'. Below it is a section titled 'Notificación de sanción' with a green checkmark and the text 'Envío a correo'. At the bottom is a blue 'Continuar' button.

Fuente: Elaboración propia.

## **Conclusiones y aportes**

---

# Conclusiones principales

## 1. Viabilidad técnica demostrada:

- La arquitectura híbrida (Hyperledger Fabric + Ethereum + IPFS dual) demostró ser viable para la gestión de fotocomparendos en el entorno experimental.

## 2. Garantías criptográficas verificadas:

- 100 % de intentos de modificación no autorizada rechazados satisfactoriamente.
- Detección automática de alteraciones mediante *content-addressing* (CIDs).
- Tiempos de respuesta dentro de los criterios de aceptación ( $\leq 3s$ ).

## 3. Modelo de confianza alternativo:

- Transición hacia confianza criptográfica verificable, conciliando privacidad (Ley 1581/2012) y transparencia (Ley 1712/2014).

# Respuesta a la pregunta de investigación

## Respuesta

La respuesta a la pregunta de investigación es **afirmativa** dentro del alcance experimental definido: las tecnologías de redes distribuidas permiten mitigar el riesgo de alteración de la integridad de los datos en el proceso de fotocomparendos.

### Evidencia obtenida:

- Registro y trazabilidad de 5 estados del ciclo de vida con inmutabilidad criptográfica
- Detección automática de alteraciones en documentos y evidencias
- Modelo de confianza verificable sin intermediarios

### Oportunidades de extensión:

- Escalamiento a volúmenes operativos reales (457,000 comparendos semestrales)
- Integración con sistemas institucionales (SIMIT, RUNT)
- Incorporación de los estados restantes del proceso
- Estudios de aceptación tecnológica

# Evidencia de cumplimiento de objetivos

Tabla 1

*Cumplimiento de objetivos específicos*

Objetivo	Validación	Resultado
Análisis de vulnerabilidades	Auditoría documental y normativa	Brechas en FÉNIX identificadas; requisitos definidos
Desarrollo prototipo híbrido	Implementación iterativa	Arq. hexagonal: Fabric, Ethereum, IPFS dual, API REST
Evaluación viabilidad técnica	80 pruebas (Vitest v3.2.4)	100 % superadas; $\leq$ 3s; 100 % hash match

Fuente: Elaboración propia.

## Síntesis

Los tres objetivos específicos se cumplieron dentro del alcance experimental definido.

## Trabajo futuro

---

# Líneas de evolución

## 1. Validación operativa:

- Piloto controlado con 5,000–10,000 multas reales
- Integración con SIMIT/RUNT mediante APIs reales
- Estudios de aceptación tecnológica (TAM/UTAUT) con agentes de tránsito y ciudadanos

## 2. Escalamiento a producción:

- Red Fabric multi-organizacional (SDM, Policía, Contraloría)
- Migración a soluciones Layer 2 (Polygon, Arbitrum)
- Auditoría formal de seguridad (Slither, MythX)

## 3. Extensión funcional:

- Oráculos certificadores para el estado NOTIFICADA
- Módulo de pagos (PSE, billeteras digitales)
- Sistema de apelaciones en línea automatizado

## 4. Replicabilidad:

- Adaptación para otras ciudades colombianas
- Estandarización de contratos inteligentes a nivel nacional
- Federación de redes Fabric intercity

## Perspectiva

Los resultados obtenidos constituyen una base técnica para futuras investigaciones orientadas a la validación operativa e institucional del sistema propuesto.

## Referencias principales

- antonopoulos2023mastering
- Informe170100005424
- vanSteen2017
- nakamoto2008bitcoin



# 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?**