ISSN: 1692-7257 - Volumen 2 – Número 48 - 2026

ORIGINAL

RCTA
Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada
UNIPAMPLONA

Interoperabilidad, espectro y regulación en servicios de dinero móvil: análisis y recomendaciones desde la ingeniería para países en desarrollo

Interoperability, spectrum, and regulation in mobile money services: analysis and engineering-based recommendations for developing countries

Gabriel Sánchez Suárez[1]

[1] **Corporación Unificada Nacional de Educación Superior, Ingeniería de Sistemas, Ibagué, Tolima, Colombia.**

Recibido: 18 diciembre 2025. Revisado: 03 marzo 2026. Aceptado: 04 junio 2026. Publicado: 02 julio 2026.
Autor de correspondencia: Gabriel Sánchez Suárez

Cómo citar: G. Sánchez Suárez, "Interoperabilidad, espectro y regulación en servicios de dinero móvil: análisis y recomendaciones desde la ingeniería para países en desarrollo", *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada (RCTA)*, vol. 2, no. 48, jul. 2026, art. no. 4276, doi: 10.24054/rcta.v2i48.4276

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

Resumen:

Este artículo analiza los servicios de dinero móvil como promotores de la inclusión financiera, tomando el caso colombiano. Desde un enfoque ingenieril, estudia tres factores críticos: la interoperabilidad entre plataformas, la gestión del espectro radioeléctrico y la regulación técnica, mediante una metodología documental y comparativa, que incluye estándares internacionales y datos técnicos, identificando una baja interoperabilidad pese a la alta bancarización móvil, y una correlación positiva entre la cobertura 4G y la adopción de billeteras digitales. Se propone una arquitectura interoperable basada en estándares abiertos, con estimación de costos para el espectro dinámico en zonas rurales, ofreciendo un marco técnico aplicable a países con ecosistemas financieros en transición.

Palabras clave: Servicios financieros móviles, gestión del espectro radioeléctrico, regulación tecnológica, inclusión financiera digital.

Abstract:

This article analyzes mobile money services as drivers of financial inclusion, taking the Colombian case as a reference. From an engineering perspective, it examines three critical factors: interoperability between platforms, radio spectrum management, and technical regulation. Using a documentary and comparative methodology—including international standards and technical data—it identifies low interoperability despite high mobile banking adoption, as well as a positive correlation between 4G coverage and the uptake of digital wallets. The study proposes an interoperable architecture based on open standards, along with cost estimates for dynamic spectrum in rural areas, offering a technical framework applicable to countries with financial ecosystems in transition.

Keywords: Mobile financial services, radio spectrum management, technology regulation, digital financial inclusion.

INTRODUCCIÓN

Los servicios de dinero móvil han emergido como herramientas clave para fomentar la inclusión financiera en regiones con acceso bancario limitado [1]. En Colombia, plataformas como Nequi, DaviPlata y Movii han alcanzado más de 30 millones de usuarios para pagos, ahorros y transferencias móviles [2], [3], alineándose con tendencias globales de más de 2 mil millones de cuentas registradas y un impacto en el PIB de hasta 1.7% en países con alta adopción [4]. Sin embargo, enfrenta tres desafíos estructurales: interoperabilidad técnica, gestión eficiente del espectro radioeléctrico [5], y marcos regulatorios que equilibren innovación, seguridad y equidad [6], [7]. Estos, típicamente analizados desde ángulos económicos o jurídicos, demandan un enfoque ingenieril en arquitectura técnica, escalabilidad y sostenibilidad.

Contexto global y barreras comunes

A pesar del crecimiento global de los servicios de dinero móvil, los países en desarrollo enfrentan barreras comunes que limitan su potencial, incluyendo: (i) ecosistemas de pago fragmentados por la falta de estándares técnicos abiertos y acuerdos de interoperabilidad entre operadores; (ii) una infraestructura de telecomunicaciones desigual, con brechas significativas en cobertura 4G/5G en zonas rurales y de baja densidad poblacional; (iii) políticas de asignación del espectro radioeléctrico que priorizan la recaudación fiscal sobre la conectividad universal, elevando los costos operativos; y (iv) marcos regulatorios híbridos que, aunque promueven la innovación financiera, no imponen requisitos técnicos mínimos obligatorios (como estándares de seguridad, disponibilidad o trazabilidad). El abordar estos desafíos desde una perspectiva exclusivamente económica o jurídica ha resultado insuficiente, creando una brecha de conocimiento que este artículo busca llenar desde la ingeniería de sistemas y telecomunicaciones.

Relevancia del caso colombiano

Colombia destaca en la literatura global por presentar una paradoja con la alta adopción de billeteras digitales con baja interoperabilidad técnica[2], como se documenta en las directrices globales de open finance del Banco Mundial[8], generando ecosistemas fragmentados donde usuarios mantienen múltiples saldos, elevando costos y limitando economías de red. Por su geografía desigual que impone barreras técnicas en cobertura móvil, exacerbando brechas urbano-rurales[3]. Y por ser pionera en normativas como SEDPEs[6]y banca abierta[7], sirviendo como paradigma para examinar límites de innovación institucional sin infraestructura coherente. Así, actúa como laboratorio para lecciones en ecosistemas inclusivos, seguros y sostenibles, destacando riesgos de priorizar crecimiento comercial sobre arquitectura sistémica.

Marco Teórico

La selección de los tres marcos de ingeniería de sistemas (SSM, modelo de Leavitt y TOGAF) permite abordar el ecosistema de dinero móvil como un sistema sociotécnico complejo, donde los problemas de interoperabilidad, espectro y regulación no son exclusivamente técnicos ni puramente organizacionales. SSM permite gestionar la multiplicidad de visiones entre actores (operadores, reguladores, usuarios) y diseñar cambios viables en contextos de alta incertidumbre y conflicto de intereses, cosa que los modelos puramente técnicos no capturan.

El modelo de Leavitt fuerza el análisis de interdependencias entre tecnología, estructura, tareas y personas, evitando soluciones que optimizan solo una variable (por ejemplo, imponer APIs sin rediseñar procesos). TOGAF se adopta como el marco arquitectónico que traduce los requisitos estratégicos y regulatorios en una hoja de ruta técnica concreta (estándares, capas de datos, aplicaciones, infraestructura), algo indispensable para proponer interoperabilidad real y gestión de espectro. En la metodología adoptada (cualitativa, documental y comparativa), estos marcos actúan como herramientas de análisis interpretativo y no como técnicas de verificación hipotética, aplicándose sobre los hallazgos empíricos (Resultados) para explicar las brechas detectadas y para estructurar las recomendaciones finales (Discusión y Conclusiones).

Soft Systems Methodology (SSM)

La SSM[9]analiza sistemas sociotécnicos complejos como el dinero móvil, mapeando visiones divergentes de actores (operadores, bancos, fintech, reguladores, usuarios). Facilita esquemas adaptativos para tensiones comerciales-regulatorias-sociales. En Colombia, mapea perspectivas sobre interoperabilidad, diseñando rutas viables más allá de decretos.

Modelo de Leavitt

El modelo de Leavitt[10]interconecta personas, tareas, estructura y tecnología. En Colombia, muestra que interoperabilidad implica redefinir procesos y alinear instituciones; cambios en APIs impactan todo el sistema. Aplicado al espectro, resalta que cobertura rural depende de alfabetización digital, modelos de negocio y tecnología disponible[11].

TOGAF (The Open Group Architecture Framework)

TOGAF[12]diseña arquitecturas que integran objetivos de negocio y tecnología. Colombia carece de arquitectura nacional para interoperabilidad[13], ciberseguridad y escalabilidad. Se propone una “Target Architecture” con dominios de datos, técnica (espectro, protocolos), aplicaciones y negocio, reduciendo redundancias y fortaleciendo resiliencia.

Estudios como Suri & Jack[1],[14]demuestran impacto de M-PESA en reducción de pobreza en Kenia, potenciado por interoperabilidad. En África Occidental, pilares técnicos como conectividad son clave[15]. Estos refuerzan enfoques sistémicos para Colombia y similares[16].

Literatura Reciente sobre Inclusión Financiera Digital

En conjunto, estos tres marcos operan de manera encadenada en el análisis: SSM para interpretar las tensiones entre actores que explican la baja interoperabilidad efectiva (Resultado 1); el modelo de Leavitt para diagnosticar cómo cambios tecnológicos no acompañados de ajustes estructurales generan fragmentación (Resultado 1 y 2); TOGAF como plantilla para proponer la arquitectura interoperable (Figura 2) y para evaluar la desconexión entre política de espectro e inclusión financiera (Resultado 2). De esta forma, la triangulación no es solo declarativa, sino que se ejecuta explícitamente en las secciones de Discusión y Recomendaciones.

Brecha de conocimiento y pregunta de investigación

La literatura sobre dinero móvil en economías en desarrollo privilegia los análisis de impacto socioeconómico[1]o los estudios de regulación financiera[17], con una brecha en el sistémico-ingenieril que integre tres variables técnicas interdependientes: la arquitectura de interoperabilidad(protocolos, estándares de mensajería como ISO 20022), la planificación del espectro como habilitador de cobertura rural, y la traducción de mandatos regulatorios en requisitos técnicos concretos (latencia, cifrado, disponibilidad). Esto lleva a diagnósticos parciales y a recomendaciones que subestiman los cuellos de botella de implementación.

Por lo tanto, este estudio se guía por la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo es la relación entre la interoperabilidad técnica, la gestión del espectro radioeléctrico y el marco regulatorio actual en la configuración del ecosistema de dinero móvil en un país en desarrollo como Colombia, y qué recomendaciones de ingeniería de sistemas pueden derivarse para superar las barreras identificadas? La contribución principal es doble: (a) un diagnóstico técnico-cuantitativo (cobertura, latencia, nivel de interoperabilidad) contrastado con referentes exitosos, y (b) una hoja de ruta basada en estándares abiertos(TOGAF, ISO 20022)y tecnologías de espectro dinámico, explícitamente diseñada para contextos de geografía desigual y recursos limitados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo corresponde a un artículo de análisis documental con enfoque comparativo, al integrar una revisión sistemática de fuentes secundarias con la construcción de una matriz de contraste entre tres países (Colombia, Kenia y Costa de Marfil) para identificar brechas y formular recomendaciones ingenieriles, no limitándose a sintetizar literatura, sino que aplica marcos de ingeniería de sistemas (SSM, Leavitt, TOGAF) para interpretar los hallazgos y proponer una arquitectura objetivo.

Se adopta un enfoque cualitativo, teórico y documental, enmarcado en la investigación aplicada de carácter exploratorio y analítico, con el objetivo de identificar y analizar críticamente los factores técnicos y regulatorios que condicionan el desarrollo sostenible, seguro e inclusivo de los servicios de dinero móvil en Colombia, enfatizando tres ejes estructurales: interoperabilidad entre plataformas, gestión del espectro radioeléctrico y marcos normativos vigentes. La metodología no experimental se justifica por la naturaleza sistémica y compleja del objeto de estudio, priorizando una interpretación comprensiva de fenómenos sociotécnicos a partir de evidencia secundaria confiable[9],[10].

Estrategia de búsqueda y criterios de selección

La búsqueda documental se realizó en IEEE Xplore, Scopus, ScienceDirect, Google Scholar, GSMA, SFC, Banca de las Oportunidades, Banco Mundial y UIT, cubriendo el periodo 2014-2024(corte febrero 2025)[4],[5],[16],[2],[3],[6],[7],[8]. Las palabras clave combinaron términos en español/inglés: (“mobile money” OR “digital wallet”) AND (“interoperability” OR “spectrum pricing” OR “rural coverage”) AND (“regulation” OR “technical standards”).

Se aplicaron criterios de inclusión: (i) idiomas español/inglés; (ii) abordar al menos dos ejes temáticos (interoperabilidad, espectro, regulación); (iii) fuentes con revisión por pares o institucionales (GSMA, BCEAO, etc.)[1],[15],[14]. Se excluyeron documentos comerciales sin datos técnicos, opiniones no respaldadas y duplicados.

Para la matriz comparativa Colombia-Kenia-Costa de Marfil (Tabla 1), se definieron cinco indicadores técnicos homogéneos (latencia, interoperabilidad, cobertura rural 4G, % transacciones interoperables, marco técnico común). Los datos se extrajeron de[1],[4],[5],[16],[2],[3],[15],[14],[11]y se validaron priorizando fuentes GSMA/Banco Mundial ante discrepancias. La matriz de evidencia está disponible bajo solicitud al autor.

Procedimiento Metodológico

El análisis se desarrolló en tres fases secuenciales:

Sistematización Documental: Clasificación de documentos por ejes (interoperabilidad, espectro, regulación), extrayendo

categorías clave como estandarización[13], eficiencia espectral[5], resiliencia operativa[11], gobernanza tecnológica y disponibilidad de red[9],[12].

Análisis Comparativo Internacional: Construcción de matriz de contraste entre Colombia, Kenia y Costa de Marfil, con 5 indicadores técnicos (latencia, cobertura 4G rural, interoperabilidad, % transacciones interoperables, marco técnico común) para identificar brechas, buenas prácticas y oportunidades[1],[15],[14].

Análisis Interpretativo Técnico-Normativo: Aplicación de marcos de ingeniería de sistemas (SSM[9], modelo de Leavitt[10], TOGAF[12]) para interpretar hallazgos, detectar cuellos de botella y formular recomendaciones[11]. No se usaron simulaciones ni datos primarios, sino datos técnicos consolidados y razonamiento estructural basado en principios de arquitectura de sistemas, normalización de procesos y planificación espectral[13].

Justificación del Enfoque Ingenieril

Este enfoque ingenieril aborda una brecha en la literatura de inclusión financiera, que privilegia perspectivas económicas, jurídicas o sociológicas, subestimando el impacto técnico en viabilidad, equidad y sostenibilidad[17]. Variables como arquitectura de red, interoperabilidad, asignación de espectro y estándares se analizan con herramientas de ingeniería de sistemas y telecomunicaciones, revelando problemas en equidad territorial, cobertura rural, calidad de servicio e inclusión de actores emergentes[5],[11].

Limitaciones Metodológicas

Se identifican tres limitaciones principales: ausencia de datos primarios de campo por restricciones logísticas y temporales; dependencia de fuentes secundarias, susceptible a sesgos institucionales; e imposibilidad de simulaciones computacionales o pruebas de laboratorio para escenarios de interoperabilidad o eficiencia espectral. No obstante, el enfoque documental es adecuado para los objetivos, gracias a la calidad técnica de las fuentes, su validez comparativa y triangulación de información normativa, técnica y empírica[9].

RESULTADOS

Resultado 1: Fragmentación Técnica e Interoperabilidad Limitada.

Hallazgo 1.1: La interoperabilidad entre plataformas de dinero móvil en Colombia es baja; aunque Transfiya existe, menos del 30% de transacciones son interoperables (Tabla 1), forzando saldos múltiples en billeteras y elevando costos[2],[3].

Hallazgo 1.2: Predominan arquitecturas cerradas o semiabiertas sin protocolo unificado, con APIs no estandarizadas e integraciones bilaterales costosas, contrariando estándares como ISO 20022[13]. En Costa de Marfil, la interoperabilidad mejoró acceso a pagos educativos al reducir fricciones[16],[15]; en Colombia, esto genera redundancias y baja resiliencia, opuesto a principios ITU-T[11].

La Tabla 1 compara métricas técnicas con Kenia y Costa de Marfil, destacando rezagos en interoperabilidad y cobertura rural, alineados con literatura CGAP/Banco Mundial[1],[14].

Tabla 1: Comparación técnica del ecosistema de dinero móvil: Colombia, Kenia y Costa de Marfil

Indicador	Colombia	Kenia	Costa de Marfil
Latencia promedio en transferencias	~2–4 seg (ACH/QR)[1]	<1 seg (M-PESA)[2]	~2–3 seg[3]
Nivel de interoperabilidad	Parcial (Transfiya)	Alto (M-PESA, Airtel)[4]	Medio
% Cobertura rural 4G	~60 %[5]	>80 %[6]	~50 %[7]
% Transacciones interoperables	<30 %[8]	>90 %[9]	60–70 %[10]
Marco técnico común	No	Sí (regulador + GSMA)	Parcial

Notas: [1]Latencia estimada [2]; [2]Dato de [1]; [3]Estimación propia con base en [15]; [4]Interoperabilidad total [1]; [5]Dato GSMA [5]; [6]Ídem; [7]Dato [15]; [8]Estimación [3]; [9]Dato [1]; [10]Estimación [15]. Fuente: [1], [2], [3], [11], [14], [15], [16].

Esta comparación cuantifica brechas técnicas, útiles para políticas públicas[11]. La cronología de hitos regulatorios/tecnológicos, 2014–2024, basada en GSMA y normativas nacionales[4],[5],[16],[6],[7], muestra avances como SEDPE y Transfiya, pero con rezagos en estandarización.

Resultado 2: Brecha en Gestión del Espectro e Impacto en Cobertura Rural.

Hallazgo 2.1: Hay desconexión entre asignación de espectro y inclusión financiera rural; subastas(ej., 700 MHz, 2019) enfrentan altos costos y tributos sin incentivos para expansión en zonas de baja densidad[5],[16]. Esto limita QoS, latencia y confiabilidad para transacciones móviles[17].

La Figura 1 (mapa de cobertura 4G/5G y adopción regional de billeteras, fuentes: GSMA, MinTIC, Banca de las Oportunidades[4],[5],[2],[3]) correlaciona cobertura incompleta (sur/oriente) con baja adopción, demandando políticas

equitativas. Paralelos en desafíos regulatorios para infraestructura inalámbrica sostenible[11]enfatizan alineación estratégica entre telecomunicaciones y finanzas.

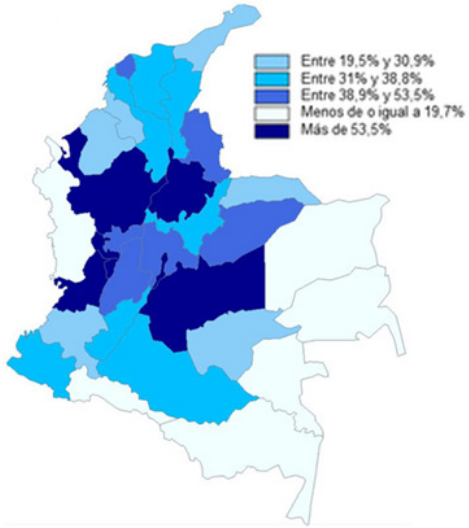

Fig. 1. *Cobertura 4G/5G en Colombia y uso regional de billeteras móviles por departamento, Colombia (2023). Fuente: [4], [5], [16], [3].*

Resultado 3: Correlación entre Cobertura 4G y Adopción de Billeteras Móviles.

Hallazgo 3.1: La evidencia sugiere asociación entre la cobertura 4G y la adopción departamental de billeteras móviles. El Reporte de Inclusión Financiera 2023[2]señala que los mayores índices de tenencia de depósitos de bajo monto (asociados a monederos digitales) se concentran en Bogotá y Antioquia. Por el contrario, GSMA[5]identifica que departamentos con baja cobertura 4G (ej. Chocó) enfrentan mayores barreras de asequibilidad y muestran menor penetración de servicios digitales. Esta asociación geográfica, consistente con hallazgos reportados en Kenia para M-PESA[1],[14], sugiere que la infraestructura de conectividad es un habilitador crítico para la inclusión financiera digital.

Marco Regulatorio: Avances con Rezagos Técnicos

Colombia pionera con SEDPE(Ley 1735/2014[6])y banca abierta(Circular 029/2014[7]), diversificando actores no bancarios. Sin embargo, falta marco técnico estandarizado para interoperabilidad, dejando implementación a operadores y causando fragmentación[17]. Avances en APIs para open banking carecen de estándares mínimos de seguridad/escalabilidad, un vacío en sistemas distribuidos[13],[12]. Política fiscal (impuestos digitales) actúa como barrera, reduciendo inversiones en interoperabilidad/cobertura[4],[5],[6]. Sandboxes regulatorios con enfoque ingenieril son esenciales para innovaciones fintech[17].

DISCUSIÓN

Hallazgos derivados de la evidencia

Los resultados muestran avances en la expansión del dinero móvil en Colombia, pero persisten obstáculos técnicos y regulatorios que limitan su rol en la inclusión financiera. Desde la ingeniería, estos retos surgen de decisiones técnicas que afectan interoperabilidad, eficiencia espectral y coherencia normativa.

Hallazgo 1: La interoperabilidad en Colombia es parcial y bilateral, pese a regulaciones como la Circular Externa 029 de 2014[7], con menos del 30% de transacciones interoperables y predominio de arquitecturas cerradas[2],[3]. Hallazgo 2: Existe una desconexión entre la política de asignación de espectro y la cobertura rural, evidenciada en subastas (ej. 700 MHz) sin obligaciones de expansión en zonas de baja densidad[5],[16]. Hallazgo 3: La evidencia documental muestra una asociación geográfica positiva entre cobertura 4G y adopción de billeteras móviles[2],[3]. Hallazgo 4: Colombia cuenta con avances normativos (SEDPE, banca abierta) pero carece de un marco técnico estandarizado para interoperabilidad, dejando la implementación a los operadores y generando fragmentación[6],[7],[17].

Interpretaciones desde los marcos de ingeniería (SSM, Leavitt, TOGAF)

Modelo de Leavitt: Los Hallazgos 1.1 y 1.2 se explican porque la tecnología (APIs no estandarizadas) impacta la estructura (acuerdos bilaterales complejos), las tareas (integraciones redundantes) y las personas (experiencia fragmentada).

SSM: Revela visiones divergentes entre actores. Los operadores ven la interoperabilidad como amenaza competitiva y los reguladores como mandato público. Sin un propósito común, las soluciones técnicas son insuficientes.

TOGAF: Los Hallazgos 2.1 y 3.1 se explican porque la arquitectura de negocio (inclusión financiera) no se alinea con la arquitectura tecnológica (gestión espectral). Se necesita una arquitectura objetivo con incentivos para cobertura rural, tratando la conectividad como habilitador estratégico.

Comparación internacional profundizada

Costa de Marfil demuestra que un marco técnico común (impulsado por BCEAO) permite impulsar pagos escolares eficientes[16],[15]. Colombia tiene mandatos regulatorios centrados en lo financiero y dejando estándares técnicos a las entidades, generando asimetrías y riesgos. De Kenia se aprende que la interoperabilidad total (M-PESA con Airtel) fue posible porque el regulador la impuso con plazos y sanciones, mientras que en Costa de Marfil el éxito parcial se debió a un marco técnico regional uniforme[1],[15],[14]. Acerca de los sistemas de pago digitales en economías emergentes (Kenia, India, Brasil, Perú) se confirma que la interoperabilidad temprana y regulada es un predictor clave del éxito en inclusión financiera[18]. Una lección transversal es que las transformaciones exitosas dependen de una visión técnico-sistémica compartida entre reguladores, operadores y desarrolladores. Colombia ha priorizado el crecimiento comercial sobre la arquitectura sistémica, resultando en ecosistemas fragmentados.

Recomendaciones y propuestas del estudio

A partir de los hallazgos e interpretaciones, se formula las siguientes recomendaciones ingenieriles:

Se propone una arquitectura distribuida con bus centralizado, APIs abiertas estandarizadas(ISO 20022[13]), capa de seguridad unificada y supervisión regulatoria (Figura 2), alineada con TOGAF[12], ITU-T D.50 y CPMI[17]. Esto responde a los hallazgos con APIs estandarizadas y gobernanza, e incorpora lecciones de SSM.

Se recomienda adoptar Dynamic Spectrum Access (DSA) y TV White Spaces para extender conectividad rural sin comprometer QoS[11], con un costo estimado de USD100.000–300.000 por localidad (estaciones base, gestión espectral, energía solar, backhaul), respaldado por Banco Mundial[15]y UIT[11]. Esto puede amortizarse vía consorcios público-privados o licencias compartidas, con beneficios en inclusión financiera y comercio local.

La regulación moderna debe incluir requisitos mínimos obligatorios: uptime >99.5%, cifrado extremo a extremo, autenticación multifactor, recuperación ante desastres y auditorías periódicas[17]. Los sandboxes regulatorios con enfoque ingenieril son esenciales para validar innovaciones fintech[17].

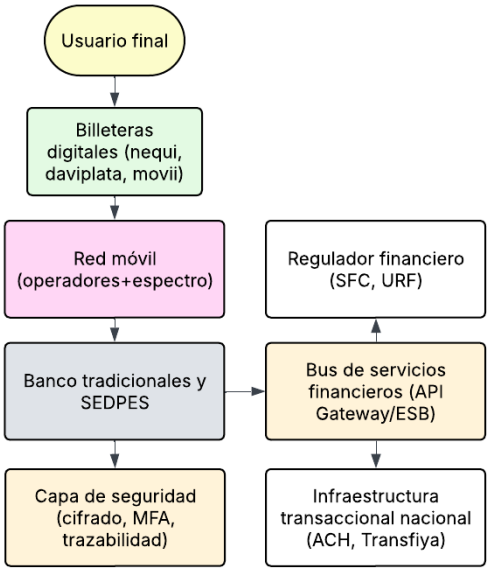

Fig. 2. *Propuesta de arquitectura interoperable para el ecosistema de dinero móvil colombiano.*
Fuente: [16], [12], [13], [17], [11].

Blockchain ofrece trazabilidad y resistencia, pero en Colombia requiere precauciones por conectividad limitada, se debe evitar PoW (por latencia y consumo energético); optar por redes permissioned como Hyperledger Fabric o Corda, combinadas con firma digital y almacenamiento optimizado para escalabilidad eficiente.

Reflexiones estratégicas, impacto económico y síntesis sistémica

Para Colombia se recomienda: adoptar estándares(ISO 20022,APIsabiertas), diseñar políticas espectrales con enfoque rural, implementar sandboxes técnicos, fomentar consorcios de infraestructura y definir métricas de desempeño en la regulación[19]. La duplicación de infraestructura genera ineficiencias, mayores costos fijos y operativos, tiempos de desarrollo más largos y barreras de entrada para fintech emergentes, reduciendo la competitividad, las economías de escala y el crecimiento inclusivo. Por último, los problemas identificados son fallas sistémicas: SSM explica la fragmentación social; el modelo de Leavitt revela las interconexiones técnico-humanas; TOGAF proporciona el rediseño coherente. Los resultados validan esta interpretación.

La cuarta edición del estudio LATAM Fintech Regulation[20]destaca que Colombia se encuentra en una posición intermedia en madurez regulatoria frente a Brasil y México, con avances en pagos en tiempo real y sandboxes, pero con rezagos en estándares técnicos obligatorios.

Limitaciones del estudio

Este estudio adopta un enfoque cualitativo-documental, basado en fuentes secundarias (GSMA, gobierno, multilaterales), ofreciendo una visión sistémica pero sin datos primarios (encuestas, entrevistas), lo que limita la captura de percepciones reales y puede conllevar sesgos institucionales. El enfoque es pertinente para los objetivos conceptuales, está sustentado en estándares(TOGAF[12], ISO 20022[13])y en casos comparativos, y revela la división técnico-política, proponiendo una regulación sistémica integradora.

CONCLUSIONES

Este análisis evidencia que el dinero móvil en Colombia, pese a su adopción masiva y éxito comercial, enfrenta una arquitectura técnica y regulatoria fragmentada que limita su potencial inclusivo. Interpretados mediante TOGAF [12], SSM [9] y el Modelo de Leavitt[10], los hallazgos revelan cuellos de botella sistémicos: baja interoperabilidad estandarizada (Hallazgo 1.1), desconexión entre política de espectro y cobertura rural (Hallazgo 2.1), y vacíos regulatorios técnicos (Marco Regulatorio).

Para avanzar de un crecimiento cuantitativo a cualitativo, se propone esta hoja de ruta estratégica:

Arquitectura nacional de interoperabilidad: Basada en fragmentación técnica (Hallazgos 1.1, 1.2) y visiones divergentes (SSM[9]), implementar un bus de servicios financieros con ISO 20022[13]y APIs abiertas bajo TOGAF[12], supervisado por la Unidad de Regulación Financiera para gobernanza multi-actor.

Conectividad como infraestructura crítica: Ante correlación cobertura-adopción (Hallazgo 3.1) y gestión cerrada de espectro (Hallazgo 2.1), reformular subastas con licencias universales, precios diferenciados y obligaciones rurales; fomentar alianzas público-privadas para tecnologías como TV White Spaces[11].

Regulación técnica y gobernanza adaptativa: Frente a avances normativos sin rigor técnico (Marco Regulatorio), promulgar requisitos mínimos obligatorios (uptime >99.5%, cifrado extremo a extremo, autenticación multifactor, continuidad de negocio); institucionalizar Sandbox Regulatorio para validar soluciones como blockchain permissioned[21],[17].

Coordinación intersectorial y sostenibilidad fiscal: Para superar dicotomía técnico-política y tributación excesiva [4], [5], [6], crear Mesa Técnica Permanente (MinTIC, Superintendencia Financiera, DIAN, Banco de la República) que alinee políticas digital, financiera y fiscal, incentivando interoperabilidad y resiliencia.

En síntesis, la ingeniería de sistemas y telecomunicaciones ofrece el andamiaje para esta transición, priorizando interoperabilidad, cobertura universal y seguridad como atributos de diseño. Colombia puede liderar en Latinoamérica un modelo de dinero móvil robusto, vibrante y transformador, implementando esta hoja de ruta.

REFERENCIAS

[1] T. Suri and W. Jack, “The long-run poverty and gender impacts of mobile money,” *Science*, vol. 354, no. 6317, pp. 1288–1292, 2016, doi: 10.1126/science.aah5309.

[2] Superintendencia Financiera de Colombia, “Reporte de Inclusión Financiera 2023: Avances y retos en Colombia,” Bogotá, Colombia, 2024. [Online]. Available: https://www.superfinanciera.gov.co/publicaciones/10115193/reporte-de-inclusion-financiera-2023-avances-y-retos-en-colombia/

[3] Banca de las Oportunidades, “Indicadores de inclusión financiera en Colombia 2023,” Gobierno de Colombia, Bogotá, Colombia, 2023. [Online]. Available: https://www.bancadelasoportunidades.gov.co/es/publicaciones/reportes-anuales

[4] GSMA, “Taxing mobile connectivity in Sub-Saharan Africa: A review of mobile sector taxation and its impact on digital inclusion,” GSMA Intelligence, London, U.K., 2017. [Online]. Available: https://www.gsma.com/solutions-and-impact/connectivity-for-good/public-policy/gsma_resources/taxing-mobile-connectivity-in-sub-saharan-africa-a-review-of-mobile-sector-taxation-and-its-impact-on-digital-inclusion/

[5] GSMA, "Developing countries are hard hit by high spectrum prices," GSMA Public Policy, London, U.K., 2018. [Online]. Available: https://www.gsma.com/connectivity-for-good/spectrum/gsma_resources/spectrum-prices-developing-countries/

[6] Congreso de la República de Colombia, "Ley 1735 de 2014 por la cual se dictan normas en materia financiera y se crea la SEDPE," Diario Oficial, Bogotá, Colombia, 2014. [Online]. Available: https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=59835

[7] Superintendencia Financiera de Colombia, "Circular Externa 029 de 2014," SFC, Bogotá, Colombia, 2014. [Online]. Available: https://www.superfinanciera.gov.co/publicaciones/10083443/normativanormativa-generalcircular-basica-juridica-ce-10083443/

[8] World Bank, "Open finance and other open data initiatives," World Bank Group, Washington, D.C., USA, 2025. [Online]. Available: https://digitalfinance.worldbank.org/

[9] P. Checkland, *Systems Thinking, Systems Practice: Includes a 30-Year Retrospective*, Wiley, Chichester, U.K., 1999.

[10] H. J. Leavitt, "Applied Organizational Change in Industry: Structural, Technological and Humanistic Approaches," in *Handbook of Organizations*, J. G. March, Ed. Chicago, IL, USA: Rand McNally, 1965, pp. 1144–1170.

[11] G. Sánchez-Suárez and C. A. Sierra-Daza, "Comparative Analysis of Regulatory Frameworks for Sustainable Wireless Infrastructure Implementation: International Standards and the Colombian Case," **Respuestas**, vol. 30, no. 2, pp. 82–96, May 2025, doi: 10.22463/0122820X.5134.

[12] The Open Group, "TOGAF® Standard, Version 9.2," The Open Group, Reading, U.K., 2018. [Online]. Available: https://www.opengroup.org/togaf

[13] International Organization for Standardization, "ISO 20022: Financial Services - Universal Financial Industry Message Scheme," ISO, Geneva, Switzerland, 2013. [Online]. Available: https://www.iso20022.org/

[14] W. Jack and T. Suri, "Risk Sharing and Transactions Costs: Evidence from Kenya's Mobile Money Revolution," **Amer. Econ. Rev.**, vol. 104, no. 1, pp. 183–223, 2014, doi: 10.1257/aer.104.1.183.

[15] BCEAO and GSMA, "State of Financial Inclusion in WAEMU - 2021 Annual Report," BCEAO, Dakar, Senegal, 2021. [Online]. Available: https://www.bceao.int/sites/default/files/2024-04/State%20of%20Financial%20Inclusion%20in%20WAEMU%20-%202021%20Annual%20Report.pdf

[16] GSMA, "Rethinking Mobile Taxation to Improve Connectivity," GSMA Intelligence, London, U.K., 2019. [Online]. Available: https://www.gsma.com/solutions-and-impact/connectivity-for-good/public-policy/gsma_resources/rethinking-mobile-taxation-to-improve-connectivity/

[17] D. A. Zetzsche, R. P. Buckley, J. N. Barberis, and D. W. Arner, "Regulating a Revolution: From Regulatory Sandboxes to Smart Regulation," **Fordham J. Corp. Financ. Law**, vol. 23, no. 1, pp. 31–103, 2017. [Online]. Available: https://ir.lawnet.fordham.edu/jcfl/vol23/iss1/2/

[18] F. Gasmi and J. Aurazo, "Digital payment systems in emerging economies: Lessons from Kenya, India, Brazil, and Peru," **Information Economics and Policy**, vol. 69, art. no. 101113, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.infoecopol.2024.101113.

[19] G. Sánchez-Suárez and J. C. Ríos-Bocanegra, "Transformación digital como política de recuperación postpandemia: Lecciones internacionales y desafíos para Colombia," *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, no. 78, pp. 379–407, May 2026, doi: 10.35575/rvucn.n78a14.

[20] Lloreda Camacho & Co., "LATAM Fintech Regulation 4th Edition," Lloreda Camacho Abogados, Bogotá, Colombia, 2024. [Online]. Available: https://lloredacamacho.com/

[21] Fireblocks, "Permissioned and Permissionless Blockchains in Tomorrow's Financial System," Fireblocks Inc., New York, NY, USA, 2025. [Online]. Available: https://www.fireblocks.com/wp-content/uploads/2025/05/Whitepaper_Permissionless_4.30.pdf

FINANCIACIÓN

Ninguna

CONFLICTOS DE INTERÉS

No existen

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Redacción - borrador original: Gabriel Sánchez Suárez.

Redacción - revisión y edición: Gabriel Sánchez Suárez.