

# BARRERAS TÉCNICO-LEGALES PARA LA ARMONIZACIÓN INTERNACIONAL DE LOS PROTOCOLOS DE AUTENTICACIÓN EN CONTRATOS INTELIGENTES: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

## TECHNICAL AND LEGAL BARRIERS TO THE INTERNATIONAL HARMONIZATION OF AUTHENTICATION PROTOCOLS IN SMART CONTRACTS: A SYSTEMATIC REVIEW

**Tipo de Publicación:** Artículo Científico

**Recibido:** 02/02/2026

**Aceptado:** 03/03/2026

**Publicado:** 03/04/2026

**Código Único AV:** e669

**Páginas:** 1(637-654)

**DOI:** <https://doi.org/10.5281/zenodo.19411470>

**Autores:**

**Yuri Tantalean Chavez**

Abogada

 <https://orcid.org/0009-0008-5802-8424>

**E-mail:** [dikeyuri@gmail.com](mailto:dikeyuri@gmail.com)

**Afiliación:** Universidad Nacional Hermilio Valdizán

**País:** República del Perú

**Jackeline Petronila Apaza Mendoza**

Abogada

Magister en Investigación y Docencia

 <https://orcid.org/0000-0002-6721-0083>

**E-mail:** [jacklineapaza@gmail.com](mailto:jacklineapaza@gmail.com)

**Afiliación:** Universidad Tecnológica del Perú

**País:** República del Perú

**Resumen**

La tecnología blockchain ha impulsado el desarrollo de contratos inteligentes como instrumentos capaces de automatizar la ejecución de obligaciones contractuales en entornos digitales, especialmente en operaciones transfronterizas. No obstante, la ausencia de marcos técnicos y jurídicos armonizados para la autenticación de la voluntad contractual ha generado incertidumbre en torno a su validez y reconocimiento internacional, lo que afecta la seguridad jurídica y limita su adopción global. En este contexto, el objetivo del presente artículo fue identificar las barreras técnico-legales que impiden la armonización internacional de los protocolos de autenticación para contratos inteligentes, analizando de manera integrada los obstáculos tecnológicos, regulatorios e institucionales descritos en la literatura científica. Para ello, se desarrolló un artículo de revisión sistemática, siguiendo las directrices del protocolo PRISMA, mediante una búsqueda estructurada en la base de datos Scopus y la selección de estudios arbitrados publicados entre 2021 y 2026, en inglés y español. Los resultados evidenciaron que las principales barreras se concentran en la falta de interoperabilidad y estandarización técnica, la fragmentación normativa entre jurisdicciones y los déficits de gobernanza y coordinación regulatoria a nivel internacional. En conclusión, el estudio demostró que la armonización internacional de los protocolos de autenticación en contratos inteligentes requiere enfoques integrales que articulen innovación tecnológica, reconocimiento jurídico uniforme y mecanismos de gobernanza multinivel, constituyendo un desafío central para el desarrollo seguro y eficaz del comercio digital automatizado.

**Palabras Clave**

Contratos inteligentes, autenticación contractual, armonización internacional, barreras técnico-legales, gobernanza regulatoria

**Abstract**

Blockchain technology has driven the development of smart contracts as instruments capable of automating the execution of contractual obligations in digital environments, especially in cross-border transactions. However, the lack of harmonized technical and legal frameworks for authenticating contractual intent has generated uncertainty surrounding their validity and international recognition, affecting legal certainty and limiting their global adoption. In this context, the objective of this article was to identify the technical and legal barriers that impede the international harmonization of authentication protocols for smart contracts, analyzing in an integrated manner the technological, regulatory, and institutional obstacles described in the scientific literature. To this end, a systematic review article was developed, following the PRISMA protocol guidelines, through a structured search in the Scopus database and the selection of peer-reviewed studies published between 2021 and 2026, in English and Spanish. The results showed that the main barriers are concentrated in the lack of interoperability and technical standardization, regulatory fragmentation between jurisdictions, and deficits in governance and regulatory coordination at the international level. In conclusion, the study demonstrated that the international harmonization of authentication protocols in smart contracts requires comprehensive approaches that integrate technological innovation, uniform legal recognition, and multi-level governance mechanisms, constituting a central challenge for the secure and effective development of automated digital commerce.

**Keywords**

Smart contracts, contractual authentication, international harmonization, technical-legal barriers, regulatory governance

## Introducción

La tecnología blockchain se ha consolidado como un modelo innovador en la automatización de relaciones contractuales, especialmente a través del uso de contratos inteligentes, los cuales permiten la ejecución automática de obligaciones previamente programadas (Boranbay, 2025). Este desarrollo tecnológico introduce tensiones relevantes para los sistemas jurídicos tradicionales, en particular respecto a la expresión de la voluntad contractual y a la determinación de su validez en entornos transfronterizos (Donn, 2023). En este sentido, la convergencia entre los mecanismos tecnológicos de autenticación y los marcos normativos del derecho internacional configura un ámbito de análisis prioritario que exige un examen sistemático y riguroso.

Los mecanismos de autenticación empleados en los contratos inteligentes sustentados en blockchain se basan en procedimientos criptográficos orientados a la verificación de la identidad de las partes y a la preservación de la integridad de las transacciones (Vasiu & Vasiu, 2023). No obstante, la carencia de estándares uniformes constituye una limitación significativa para la interoperabilidad y para el reconocimiento jurídico homogéneo entre distintas jurisdicciones, lo que incide negativamente en la seguridad jurídica del comercio internacional automatizado (Rahman, 2025).

La evidencia científica reciente señala que los sistemas descentralizados de verificación de identidad continúan enfrentando dificultades estructurales relacionadas con la escalabilidad, el cumplimiento normativo y la armonización internacional (Rahman, 2025). En particular, la expansión de los contratos inteligentes se ve restringida por un entorno regulatorio fragmentado y por la ausencia de mecanismos de reconocimiento mutuo entre jurisdicciones, situación que se acentúa en operaciones transfronterizas donde confluyen ordenamientos jurídicos con exigencias divergentes.

El análisis comparado de los marcos regulatorios muestra diferencias sustanciales en la forma en que las jurisdicciones abordan aspectos críticos como la seguridad jurídica y las consideraciones éticas asociadas al uso de contratos inteligentes (Boranbay & Ilyassova, 2025). Experiencias regulatorias desarrolladas en países como Suiza y el Reino Unido evidencian aproximaciones diferenciadas que podrían contribuir al diseño de modelos normativos futuros, particularmente en el contexto de iniciativas de estandarización a escala global. Sin embargo, persiste la necesidad de establecer parámetros legales internacionales que permitan un uso seguro y jurídicamente eficaz de estas herramientas contractuales.

Las barreras técnico-jurídicas identificadas en la literatura especializada comprenden diversas

dimensiones que dificultan la armonización normativa internacional. Entre ellas destacan la falta de coherencia regulatoria, las limitaciones en la aplicación efectiva de las normas y las cargas desproporcionadas de cumplimiento que recaen sobre las pequeñas y medianas empresas (Gong, 2025). Asimismo, instrumentos tradicionales de cumplimiento, como las Cláusulas Contractuales Estándar y las Normas Corporativas Vinculantes, presentan dificultades operativas al ser aplicados en contextos jurídicos internacionales heterogéneos.

Los estudios existentes coinciden en que la implementación adecuada de contratos inteligentes exige un abordaje integral que considere de manera simultánea factores tecnológicos, regulatorios e institucionales (Bukhtiar et al., 2025). El examen de la interacción entre derecho y tecnología permite identificar obstáculos estructurales que condicionan el uso legítimo de los contratos inteligentes dentro del ecosistema blockchain, destacándose la necesidad de ajustes normativos que respondan a las particularidades de estas innovaciones digitales.

Desde una perspectiva latinoamericana, los contratos inteligentes presentan rasgos específicos que requieren un análisis contextualizado (Torres-Bernal & Varela-Vielma, 2024). La delimitación conceptual de esta figura contractual y el estudio de sus modelos de gobernanza resultan elementos centrales para comprender las barreras regionales que afectan los procesos de armonización jurídica

internacional, aportando una dimensión complementaria al debate global sobre los desafíos técnico-legales existentes.

La literatura científica reciente ha examinado, desde diversos enfoques analíticos, las barreras que dificultan la armonización internacional de los protocolos de autenticación aplicados a contratos inteligentes sustentados en tecnología blockchain. En este marco, se ha identificado un conjunto de investigaciones que aportan elementos sustantivos para comprender la complejidad técnico-jurídica que caracteriza este fenómeno.

Uno de los aportes más relevantes corresponde al estudio de Rahman (2025), quien desarrolló un análisis integral sobre la estandarización de los contratos inteligentes en el contexto del cumplimiento regulatorio de pagos transfronterizos. El autor evidenció que la expansión de estas herramientas contractuales se encontraba condicionada por un entorno normativo fragmentado y por la persistencia de incertidumbres jurídicas entre distintas jurisdicciones. Asimismo, se planteó un marco de estandarización de naturaleza técnico-legal que articuló, de manera conjunta, exigencias regulatorias y especificaciones tecnológicas de los mecanismos de autenticación, destacándose la necesidad de una coordinación multinivel entre autoridades regulatorias, actores tecnológicos y operadores financieros.

Desde una perspectiva comparada, Boranbay & Ilyassova (2025) realizaron un análisis jurídico de la regulación de los contratos inteligentes en Suiza y el Reino Unido, poniendo de relieve la ausencia de estándares legales internacionales consolidados para su utilización segura y eficaz. El estudio mostró que, pese a tratarse de jurisdicciones con marcos regulatorios avanzados, subsistían diferencias sustanciales en el reconocimiento jurídico de los mecanismos de autenticación, lo que limitaba la interoperabilidad normativa en escenarios transfronterizos y evidenciaba barreras persistentes para la armonización internacional.

En el ámbito técnico, Falazi et al., (2024) llevaron a cabo una revisión sistemática multivocal centrada en la invocación de contratos inteligentes entre distintas cadenas de bloques. Los autores identificaron que la evolución independiente de las tecnologías blockchain había generado requisitos técnicos heterogéneos, lo que hacía necesaria la integración de múltiples sistemas para alcanzar objetivos operativos complejos. Este hallazgo permitió evidenciar que la falta de protocolos estandarizados de comunicación entre cadenas constituía un obstáculo estructural para la autenticación uniforme de la voluntad contractual en entornos multi-blockchain.

Por su parte, Khuan et al., (2025) analizaron las implicancias de los contratos inteligentes en relación con el derecho contractual tradicional,

abordando sus desafíos legales, éticos y operativos. El estudio examinó las tensiones existentes entre la lógica determinista del código y los principios clásicos del derecho contractual, tales como la oferta, la aceptación y la exigibilidad. Los resultados pusieron de manifiesto que la ausencia de un reconocimiento homogéneo de la manifestación de voluntad automatizada representaba una barrera estructural para la validez transfronteriza de los contratos inteligentes.

Finalmente, Qin (2025) examinó la aplicación de la tecnología blockchain en los sistemas de pago transfronterizos, destacando tanto sus potenciales beneficios como sus limitaciones actuales. El análisis evidenció que, pese a las mejoras en eficiencia, transparencia y reducción de costos, persistían obstáculos relevantes vinculados a la fragmentación regulatoria, la limitada madurez tecnológica y las barreras de acceso. Estos factores demostraron que las barreras técnico-legales operaban de manera interdependiente, de modo que los avances tecnológicos resultaban insuficientes en ausencia de procesos efectivos de armonización normativa a nivel internacional.

La revisión de la literatura científica contemporánea puso en evidencia la existencia de vacíos relevantes que sustentaron la necesidad de identificar de manera sistemática las barreras de carácter técnico y legal que dificultaron la armonización internacional de los protocolos de

autenticación aplicables a contratos inteligentes. El análisis de estudios recientes permitió constatar que, pese al crecimiento del interés académico en esta materia, persistieron brechas conceptuales y empíricas que limitaron una comprensión integral del fenómeno.

En primer lugar, la producción científica tendió a examinar los componentes tecnológicos y jurídicos de forma separada, sin articular enfoques que integraran ambas dimensiones de manera coherente. En este sentido, Hewa et al., (2021) señalaron que, aunque los contratos inteligentes sustentados en blockchain posibilitaron modelos de ejecución descentralizada y transparente, subsistieron desafíos significativos asociados a la escalabilidad, la privacidad, la seguridad y los aspectos legales. Los autores destacaron que la interacción entre las capacidades técnicas de estas soluciones y las exigencias normativas permaneció insuficientemente desarrollada, particularmente en relación con los mecanismos de autenticación de la voluntad contractual que debían satisfacer, de forma simultánea, criterios técnicos y jurídicos.

Asimismo, se identificó una fragmentación notable en los estudios que abordaron la interoperabilidad entre distintos ordenamientos jurídicos. Etemadi et al., (2021) propusieron un modelo de barreras para la adopción de blockchain en cadenas de suministro, reconociendo que la ausencia de estándares y regulaciones constituyó un

obstáculo transversal. No obstante, su análisis no profundizó en las implicancias específicas que dicha fragmentación tuvo para la autenticación de la voluntad contractual en contextos transfronterizos, lo que evidenció la necesidad de investigaciones focalizadas en este ámbito.

Otro vacío relevante se observó en el análisis de los mecanismos de verificación de identidad descentralizada y su reconocimiento jurídico internacional. Ou et al., (2024) plantearon una solución técnica basada en la integración del marco FIDO2 con blockchain, orientada a mitigar vulnerabilidades de seguridad mediante la eliminación de puntos únicos de fallo. Sin embargo, el estudio se concentró predominantemente en aspectos técnicos, dejando sin desarrollar un examen sistemático de las barreras regulatorias que condicionaron el reconocimiento uniforme de estos mecanismos entre distintas jurisdicciones.

De igual forma, la literatura mostró una exploración limitada de los procesos de estandarización internacional aplicables a los contratos inteligentes. Nurgazina et al., (2021), al analizar el uso de tecnologías de registro distribuido en cadenas de suministro alimentarias, identificaron que la falta de digitalización y de estándares comunes en los procesos y en el intercambio de información constituyó un desafío crítico. Si bien se reconocieron los beneficios potenciales de blockchain en términos de transparencia y

trazabilidad, se evidenció que la ausencia de estándares unificados obstaculizó su aplicación en escenarios que exigieron validez jurídica transfronteriza.

Finalmente, se constató un déficit de investigaciones orientadas al análisis del cumplimiento regulatorio automatizado. Yavaprabhas et al., (2022) examinaron modelos de cadenas de suministro habilitados por blockchain para explicar la generación y difusión de la confianza entre actores comerciales, pero advirtieron que persistieron interrogantes en torno a la capacidad de los mecanismos de autenticación para adaptarse dinámicamente a marcos regulatorios heterogéneos sin comprometer la integridad técnica de los sistemas.

En atención a estas brechas, el presente artículo de revisión sistemática tuvo como propósito identificar las barreras técnico-legales que obstaculizaron la armonización internacional de los protocolos de autenticación aplicables a contratos inteligentes. Este objetivo se vinculó directamente con los vacíos detectados en la literatura, al abordar la falta de marcos integrados señalada por Hewa et al., (2021), la fragmentación de los estudios sobre interoperabilidad jurisdiccional evidenciada por Etemadi et al., (2021) y las limitaciones en el análisis regulatorio de los mecanismos de verificación de identidad destacadas por Ou et al., (2024).

La revisión permitió avanzar hacia la construcción de una taxonomía comprensiva de barreras técnico-legales, diferenciando obstáculos de naturaleza tecnológica, regulatoria e institucional. Esta sistematización facilitó una comprensión más integral de los impedimentos que afectaron la armonización internacional, aportando insumos relevantes para investigadores, responsables de políticas públicas y desarrolladores tecnológicos. Asimismo, el estudio contribuyó a cubrir el vacío identificado por Nurgazina et al., (2021) en materia de estandarización, al sintetizar evidencia sobre los límites actuales de los esfuerzos de armonización, y abordó las interrogantes planteadas por Yavaprabhas et al., (2022) respecto a la adaptabilidad regulatoria de los mecanismos de autenticación en entornos transfronterizos.

### Metodología

La revisión sistemática se condujo siguiendo las directrices establecidas en el protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Para la identificación exhaustiva de estudios relevantes en la base de datos Scopus, se diseñó la siguiente ecuación de búsqueda booleana: (*"smart contract"* OR *"blockchain contract"* OR *"self-executing contract"* OR *"automated contract"*) AND (*"authentication"* OR *"identity verification"* OR *"digital signature"* OR *"cryptographic protocol"* OR *"consent verification"*) AND (*"legal framework"* OR

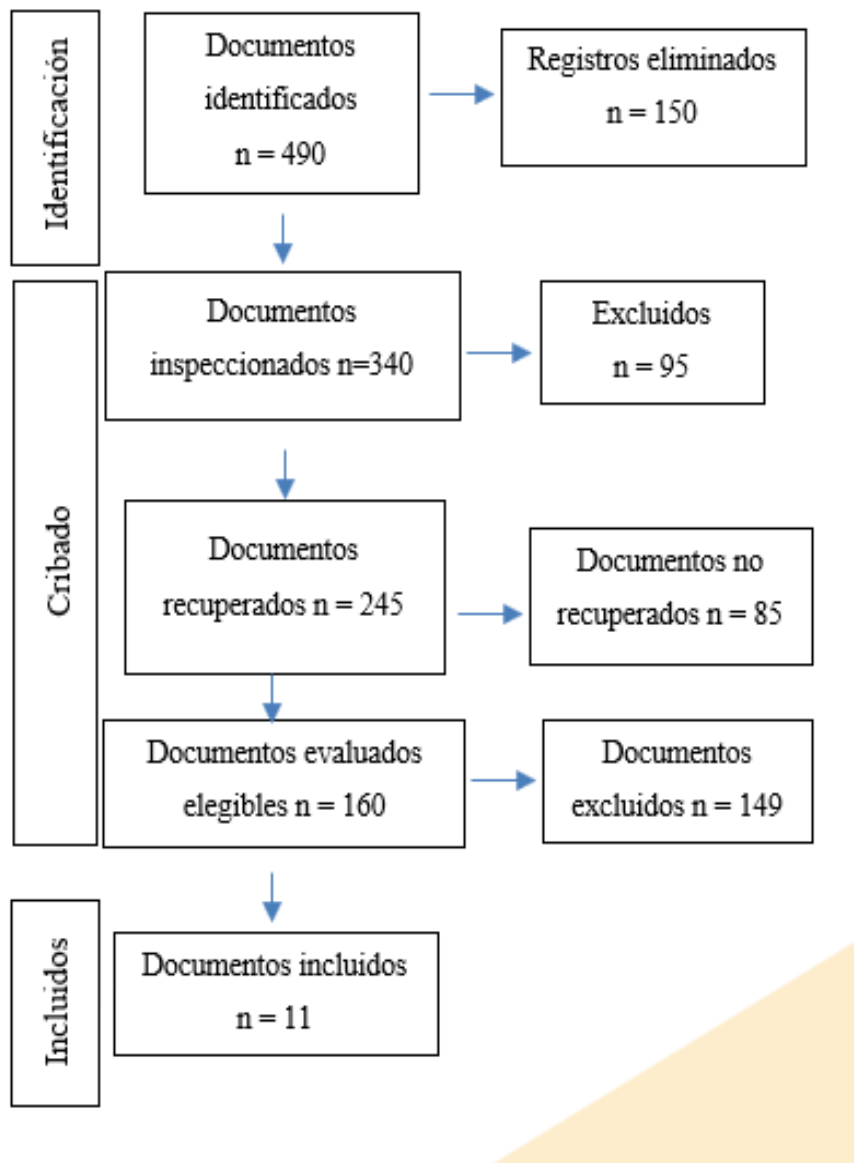
*"regulation\*" OR "legal barrier\*" OR "regulatory challenge\*" OR "legal harmonization" OR "cross border" OR "transnational" OR "international standard\*" OR "jurisdictional") AND ("barrier\*" OR "challenge\*" OR "obstacle\*" OR "limitation\*" OR "impediment\*")*).

La revisión sistemática se estructura en torno a tres preguntas de investigación que guían el análisis y síntesis de la literatura: a) ¿Cuáles son las principales barreras tecnológicas que obstaculizan la estandarización internacional de protocolos de autenticación de voluntad contractual en contratos inteligentes basados en blockchain?, b) ¿Qué barreras legales y regulatorias impiden el reconocimiento jurídico uniforme de mecanismos de autenticación en contratos inteligentes entre diferentes jurisdicciones?, c) ¿Qué barreras institucionales y de gobernanza dificultan la coordinación internacional para la armonización de estándares técnico-legales en materia de autenticación contractual automatizada?

Los estudios incluidos en la revisión sistemática se seleccionaron a partir de criterios previamente definidos. Se consideraron publicaciones arbitradas entre artículos originales, revisiones y documentos de conferencias publicadas entre 2021 y 2026, en inglés o español, cuyo texto completo estuviera disponible. La selección priorizó investigaciones que abordaron de manera explícita los protocolos de autenticación en contratos

inteligentes, los marcos legales aplicables a blockchain o las barreras para la armonización internacional, incorporando análisis de carácter técnico, jurídico o institucional en contextos transfronterizos.

Por el contrario, se excluyeron publicaciones no sometidas a revisión por pares, registros duplicados, estudios con enfoques temáticos no pertinentes o limitados exclusivamente a una dimensión técnica o jurídica, así como investigaciones circunscritas a una única jurisdicción sin proyección comparativa. También se descartaron trabajos de naturaleza meramente teórica, estudios obsoletos anteriores a 2021, publicaciones en idiomas distintos al inglés o español y aquellos que presentaron deficiencias metodológicas sustantivas que afectaron la validez de sus hallazgos (Ver Figura 1).



**Figura 1.** Identificación de estudios que utilizan el método prismático

## Resultados

Autor(es)	Año	Tipo de estudio	Enfoque principal	Contexto	Mecanismo de autenticación	Barreras tecnológicas (P1)	Barreras legales y regulatorias (P2)	Barreras institucionales y de gobernanza (P3)	Contribución al objetivo
Aburoub et al.,	2025	Análisis jurídico	Legal	Derecho civil	Consentimiento digital en smart contracts	Falta de estandarización técnica	Ausencia de reconocimiento normativo uniforme	Necesidad de reforma legislativa	Evidencias barreras jurídicas de armonización
Pérez	2025	Estudio jurídico	Legal-institucional	Justicia y ADR	Blockchain como prueba contractual	Interoperabilidad limitada	Fragmentación normativa	Resistencia institucional	Barreras institucionales a la armonización
Evangeline et al.,	2023	Propuesta técnica	Técnico	Smart cities / UAV	Autenticación criptográfica automatizada	Soluciones heterogéneas no estandarizadas	No abordadas	No abordadas	Contexto técnico que evidencia fragmentación
Jin et al.,	2024	Estudio mixto	Técnico-legal	IoT multiparte	Autenticación descentralizada	Rigidez del código y arquitecturas híbridas	Conflictos regulatorios transfronterizos	Falta de gobernanza global	Artículo integrador de barreras
Khan et al.,	2024	Estudio técnico	Técnico	Supply chain	Control de acceso y verificación	Falta de interoperabilidad	No abordadas	No abordadas	Evidencia dispersión técnica
Kumar et al.,	2025	Propuesta arquitectónica	Técnico	Salud digital	Identidad digital descentralizada	Ausencia de estándares globales	Cumplimiento regulatorio sectorial	Gobernanza DAO incipiente	Apoyo contextual
Younis et al.,	2021	Propuesta técnica	Técnico	Salud	Autenticación y smart contracts	Soluciones específicas no armonizadas	No abordadas	No abordadas	Evidencia abundancia técnica sin armonización
Althabhwawi et al.,	2025	Estudio sociojurídico	Legal	Contratos transfronterizos	Consentimiento y capacidad jurídica	Automatización rígida	Fragmentación normativa internacional	Falta de cooperación regulatoria	Artículo clave legal
Jiang et al.,	2024	Propuesta criptográfica	Técnico	Firma multiparte	Firma digital híbrida	Multiplicidad de esquemas	No abordadas	No abordadas	Barrera técnica indirecta
Singh et al.,	2025	Revisión sistemática	Mixto	Ecosistemas digitales	Identidad y smart contracts	Interoperabilidad y escalabilidad	Regulación fragmentada	Déficits de gobernanza	Marco estructural global



<b>Autor(es)</b>	<b>Año</b>	<b>Tipo de estudio</b>	<b>Enfoque principal</b>	<b>Contexto</b>	<b>Mecanismo de autenticación</b>	<b>Barreras tecnológicas (P1)</b>	<b>Barreras legales y regulatorias (P2)</b>	<b>Barreras institucionales y de gobernanza (P3)</b>	<b>Contribución al objetivo</b>
Zhang et al.,	2025	Revisión sistemática	Legal-institucional	Auditoría	Autenticación automatizada	Vulnerabilidades técnicas	Vacíos regulatorios	Falta de capacidades institucionales	Transferible al ámbito contractual

**Tabla 1.** Barreras para la armonización de la autenticación contractual automatizada



## Discusión de resultados

Los resultados de la revisión sistemática permitieron identificar un conjunto articulado de barreras de naturaleza técnico-legal que dificultaron la armonización internacional de los protocolos de autenticación aplicables a contratos inteligentes basados en tecnología blockchain. El análisis puso de manifiesto que estas barreras operaron de forma interdependiente y no aislada, configurando un entramado complejo en el que convergieron limitaciones técnicas, fragmentación normativa y debilidades institucionales de gobernanza, en coherencia con el carácter híbrido —tecnológico y jurídico— que caracteriza a los contratos inteligentes en contextos transfronterizos.

En relación con las barreras tecnológicas, los hallazgos mostraron una convergencia clara con la literatura que ha señalado la falta de interoperabilidad y de estandarización como obstáculos centrales para la adopción global de los contratos inteligentes. Investigaciones técnicas y revisiones sistemáticas previas evidenciaron que la coexistencia de múltiples arquitecturas blockchain y esquemas criptográficos dio lugar a mecanismos de autenticación heterogéneos, cuya integración resultó problemática en escenarios internacionales (Falazi et al., 2024; Khan et al., 2024). De manera concordante, Singh et al., (2025) identificaron que las limitaciones de escalabilidad y la ausencia de estándares técnicos comunes afectaron la fiabilidad

de los sistemas de identidad digital y de autenticación automatizada. A diferencia de estos estudios, la presente investigación amplió el enfoque al vincular dichas restricciones técnicas con sus efectos jurídicos, especialmente en lo referido a la validez y al reconocimiento transfronterizo de la voluntad contractual automatizada.

En el plano legal y regulatorio, los resultados se alinearon con análisis comparados que destacaron la fragmentación normativa internacional como un factor determinante en la falta de reconocimiento jurídico uniforme de los contratos inteligentes. Estudios desarrollados en distintos contextos señalaron la inexistencia de marcos legales armonizados que equiparen funcionalmente los mecanismos criptográficos de autenticación con las formas tradicionales de manifestación de la voluntad contractual (Boranbay & Ilyassova, 2025; Donn, 2023). En la misma línea, Rahman (2025) sostuvo que los procesos de estandarización en pagos transfronterizos se vieron limitados por divergencias regulatorias y por la escasa coordinación entre autoridades nacionales. El presente estudio coincidió con estos planteamientos, pero profundizó el análisis al evidenciar que dicha fragmentación incrementó la incertidumbre jurídica respecto de la exigibilidad transfronteriza de los contratos inteligentes, más allá del mero cumplimiento normativo.

En cuanto a las barreras institucionales y de gobernanza, los resultados reforzaron lo señalado por investigaciones que advirtieron una cooperación regulatoria internacional insuficiente y capacidades institucionales limitadas para supervisar tecnologías descentralizadas. Estudios sociojurídicos previos indicaron que la ausencia de mecanismos de gobernanza global dificultó tanto la adopción de estándares comunes como la adaptación dinámica de los marcos regulatorios (Althabhwai et al., 2025; Zhang et al., 2025). De manera consistente, Etemadi et al., (2021) identificaron los déficits de coordinación institucional como barreras transversales para la adopción de blockchain. No obstante, el presente estudio aportó un matiz adicional al demostrar que, en el ámbito específico de la autenticación contractual automatizada, estas barreras institucionales actuaron como factores amplificadores de las limitaciones técnicas y legales, profundizando los problemas de armonización internacional.

A pesar del rigor metodológico de la revisión, se identificaron algunas limitaciones que debieron considerarse al interpretar los resultados. En primer lugar, el análisis se circunscribió a publicaciones indexadas en la base de datos Scopus, lo que aseguró un elevado estándar de calidad académica, pero pudo excluir literatura relevante disponible en otras bases especializadas o en documentos técnicos y normativos no arbitrados. En segundo lugar, la

diversidad metodológica de los estudios incluidos, que abarcó enfoques técnicos, jurídicos y mixtos, restringió la posibilidad de realizar comparaciones cuantitativas, orientando el análisis hacia una síntesis predominantemente cualitativa. Finalmente, aunque se incorporaron investigaciones de distintos contextos geográficos, la representación de regiones en desarrollo resultó limitada, lo que pudo afectar la generalización de los hallazgos a sistemas jurídicos con menor madurez regulatoria en materia de blockchain.

A partir de los resultados obtenidos y de las limitaciones identificadas, se plantearon diversas líneas de investigación futuras. En primer término, se sugirió el desarrollo de estudios empíricos comparados que evalúen la implementación práctica de los mecanismos de autenticación en contratos inteligentes dentro de marcos regulatorios específicos, con especial atención a su reconocimiento judicial. Asimismo, resultó pertinente explorar modelos híbridos de gobernanza que articulen estándares técnicos internacionales con principios jurídicos compartidos, con el fin de contribuir al diseño de marcos normativos flexibles y adaptativos. De igual modo, se recomendó ampliar el análisis hacia contextos regionales subrepresentados, en particular América Latina y otras economías emergentes, para identificar barreras contextuales específicas y prácticas replicables. Finalmente, se propuso profundizar en

el estudio del cumplimiento regulatorio automatizado, evaluando la capacidad de los protocolos de autenticación para adaptarse a entornos normativos heterogéneos sin comprometer la seguridad técnica ni la validez jurídica.

En conjunto, la discusión permitió confirmar que la armonización internacional de los protocolos de autenticación aplicables a contratos inteligentes enfrentó barreras técnico-legales de carácter estructural, cuya superación requirió enfoques integrados que articularan tecnología, derecho y gobernanza. Al sistematizar y contrastar la evidencia científica disponible, el estudio aportó una comprensión más profunda de los obstáculos que limitaron la consolidación de un marco internacional coherente para la autenticación contractual automatizada, ofreciendo bases analíticas relevantes para el desarrollo futuro de la investigación y para el diseño de políticas públicas en este ámbito emergente.

### Conclusiones

La investigación permitió identificar, a partir de la evidencia científica analizada, un conjunto de barreras técnico-legales de carácter estructural que condicionaron la armonización internacional de los protocolos de autenticación aplicables a contratos inteligentes sustentados en tecnología blockchain. Los hallazgos mostraron que las limitaciones de índole tecnológica —entre ellas, la escasa interoperabilidad, la inexistencia de estándares

técnicos de alcance global y la rigidez de determinados mecanismos criptográficos— se encontraron estrechamente vinculadas a obstáculos legales y regulatorios, tales como la fragmentación normativa, la ausencia de criterios homogéneos para el reconocimiento jurídico del consentimiento automatizado y las divergencias regulatorias entre jurisdicciones. Asimismo, se constató que estas dificultades se vieron intensificadas por debilidades institucionales y de gobernanza, especialmente en lo relativo a la coordinación internacional y a la capacidad de los marcos normativos para adaptarse a innovaciones tecnológicas de naturaleza descentralizada. En conjunto, los resultados ofrecieron una perspectiva integrada que permitió comprender la complejidad del fenómeno y sus efectos sobre la seguridad jurídica de las transacciones automatizadas en contextos transfronterizos.

En relación con el objetivo de la investigación, orientado a identificar las barreras técnico-legales que obstaculizaron la armonización internacional de los protocolos de autenticación para contratos inteligentes, la revisión sistemática confirmó que dichas barreras operaron de manera interdependiente y no resultaron susceptibles de abordajes aislados. El análisis evidenció que los obstáculos tecnológicos adquirieron relevancia jurídica en la medida en que incidieron en la manifestación y verificación de la voluntad contractual, mientras que la fragmentación

normativa y la falta de reconocimiento mutuo entre jurisdicciones limitaron la eficacia transfronteriza de los mecanismos de autenticación. De este modo, el estudio respondió al objetivo planteado al sistematizar y categorizar las barreras identificadas en dimensiones tecnológicas, legales y de gobernanza, proporcionando un marco analítico para explicar la insuficiencia de los actuales esfuerzos de armonización internacional.

Desde una perspectiva metodológica, el estudio se desarrolló como una revisión sistemática conforme a las directrices del protocolo PRISMA, empleando una estrategia de búsqueda estructurada en la base de datos Scopus. Este diseño permitió integrar de forma rigurosa literatura procedente de revistas indexadas, incluyendo estudios de carácter técnico, jurídico y mixto, y garantizó la transparencia y la reproducibilidad del proceso de selección y análisis. La aproximación sistemática aportó valor al consolidar evidencia dispersa y al ofrecer una síntesis crítica que superó los enfoques sectoriales o disciplinares predominantes en investigaciones previas.

Finalmente, las conclusiones obtenidas presentaron implicaciones relevantes tanto para la investigación futura como para el diseño de políticas públicas y marcos regulatorios. En el plano académico, se puso de manifiesto la necesidad de desarrollar estudios empíricos comparados que examinen la implementación práctica y el

reconocimiento judicial de los protocolos de autenticación en distintos sistemas jurídicos.

Asimismo, se evidenció la pertinencia de avanzar hacia modelos de gobernanza multinivel que integren estándares técnicos internacionales con principios jurídicos comunes, capaces de adaptarse a la evolución constante de la tecnología blockchain. Desde una perspectiva aplicada, los resultados sugirieron que la superación de las barreras identificadas requirió enfoques integrales que articularan innovación tecnológica, armonización normativa y cooperación institucional, sentando las bases para un uso seguro, eficiente y jurídicamente válido de los contratos inteligentes en el ámbito transfronterizo.

## Referencias

- Aburoub, R. F., Al-Zoubi, A. S., & Al-Tarawneh, A. H. (2025). The legal nature of smart contracts in a perspective of Jordanian civil legislation. *International Journal of Law and Information Technology*, 33(1), 1–18. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.37394/23209.2025.22.5>
- Althabhwani, N. M. (2025). Mutual consent in the age of smart contracts: A mixed-methods analysis of legal challenges. *Computer Law & Security Review*, 52, Article 105948. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3619202>
- Boranbay, S. (2025). Legal regulation of smart contracts in China and the United States: A comparative legal analysis. *Bulletin of the Karaganda University. Law Series*, 30(4), 122–128. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.31489/202514/122-128>

- Boranbay, S., & Ilyassova, G. (2025). Legal regulation of smart contracts in Switzerland and the United Kingdom: A comparative legal analysis. *Bulletin of the Karaganda University. Law Series*, 30(2), 155–163. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.31489/202512/155-163>
- Bukhtiar, A., Saleem, H., Iqbal, A., Younas, M., & Hassan, A. (2025). Blockchain and cryptocurrency: Legal challenges in implementing smart contracts. *Research Journal of Social Sciences*, 3(1), 704–712. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.59075/rjs.v3i1.101>
- Pérez Campillo, L. P. (2025). Implementación de blockchain en el sistema judicial público y en los métodos alternativos de resolución de conflictos. *Revista de Derecho y Tecnología*, 9(1), 45–68. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.7238/idp.v0i42.429135>
- Donn, T. (2023). Smart contracts and international trade: European legal strategies for managing challenges. *Journal of Digital Technologies and Law*, 1(4), 1042–1057. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.21202/jdtl.2023.45>
- Etemadi, N., Van Gelder, P., & Strozzi, F. (2021). An ISM modeling of barriers for blockchain/distributed ledger technology adoption in supply chains towards cybersecurity. *Sustainability*, 13(9), Article 4672. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.3390/su13094672>
- Evangeline, S., Suganthi, M., & Rajesh, S. (2023). Blockchain system for secure and efficient UAV-to-vehicle communication in smart cities. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 14(9), 11863–11879. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.24425/ijet.2023.144342>
- Falazi, G., Breitenbücher, U., Leymann, F., & Schulte, S. (2024). Cross-chain smart contract invocations: A systematic multivocal literature review. *ACM Computing Surveys*, 56(6), Article 38. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1145/3638045>
- Gong, J. (2025). Research on the compliance path of cross-border data flow under EU law. *Advances in Economics, Management and Political Sciences*, 181(1), 65–74. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.54254/2754-1169/2025.22954>
- Hewa, T., Ylianttila, M., & Liyanage, M. (2021). Survey on blockchain-based smart contracts: Applications, opportunities and challenges. *Journal of Network and Computer Applications*, 177, Article 102857. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2020.102857>
- Jiang, R., Li, Y., Pu, X., Wang, X., Niu, W., & Song, Z. (2024). A fair multi-party contract signing scheme based on off-chain protocols and on-chain smart contracts. *Scientific Reports*, 14, Article 5096939. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-5096939/v1>
- Jin, G., Xu, L., Zhou, Z., Shi, Q., Li, Z., Xu, H., & Liu, Y. (2024). BeHarmony: Blockchain-enabled trustworthy communication and legitimate decision making in multi-party Internet of Vehicles systems. *Electronics*, 13, Article 3219. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.3390/electronics13163219>
- Khan, I., Ali, Q. E., Hadi, H. J., Ahmad, N., Ali, G., Cao, Y., & Alshara, M. A. (2024). Securing blockchain-based supply chain management: Textual data encryption and access control. *Technologies*, 12, Article 110. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.3390/technologies12070110>
- Khuan, H., Wulandari, Y., & Sothy, C. (2025). Smart contracts and their implications for conventional contract law. *Rechtsnormen: Journal of Law*, 3(1), 22–32. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.70177/rjl.v3i1.2067>



- Kumar, A. H., Venkatram, C. P., N. S., Daniel, D., & Joe, I. R. P. (2025). Decentralized digital health ecosystems: A unified architecture for AI-enhanced medical record management. *Frontiers in Digital Health*, 7, Article 1685628. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.3389/fdgth.2025.1685628>
- Nurgazina, J., Pakdeetrakulwong, U., Moser, T., & Reiner, G. (2021). Distributed ledger technology applications in food supply chains: A review of challenges and future research directions. *Sustainability*, 13(8), Article 4206. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.3390/su13084206>
- Ou, H., Pan, C., Tseng, Y., & Lin, I. (2024). Decentralized identity authentication mechanism: Integrating FIDO and blockchain for enhanced security. *Applied Sciences*, 14(9), Article 3551. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.3390/app14093551>
- Qin, X. (2025). The application and challenges of blockchain technology in cross-border payment systems. *Advances in Economics, Management and Political Sciences*, 203(1), 50–56. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.54254/2754-1169/2025.cau25655>
- Rahman, S. (2025). Standardizing smart contracts for regulatory compliance in cross-border payments. *International Journal of Law and Social Horizons*, 2(3), 295–306. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.70193/ijlsh.v2i3.260>
- Singh, J., Bharany, S., Rani, S., Rehman, A. U., Taye, B. M., Pant, R., & Kaur, U. (2025). A systematic review of blockchain, artificial intelligence, and cloud integration for secure digital ecosystems. *International Journal of Networked and Distributed Computing*, 13, Article 28. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1007/s44227-025-00072-1>
- Torres-Bernal, C., & Varela-Vielma, M. N. (2024). Retos de los contratos inteligentes en la gobernanza de las organizaciones autónomas descentralizadas en LATAM. *Revista Politécnica*, 20(39), 171–182. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v20n39a12>
- Vasiu, I., & Vasiu, L. (2023). Framework for effective smart contracting. *Bratislava Law Review*, 7(2), 107–122. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.46282/blr.2023.7.2.511>
- Yavaprabhas, K., Pournader, M., & Seuring, S. (2022). Blockchain as the “trust-building machine” for supply chain management. *Annals of Operations Research*, 327(1), 49–88. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1007/s10479-022-04868-0>
- Younis, M., Al-Harathi, H., & Al-Shammari, M. (2021). Blockchain-enabled and data-driven smart healthcare solution for secure and privacy-preserving data access. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 25(12), 4625–4636. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1109/JSYST.2021.3092519>
- Zhang, Y., Ma, Z., & Meng, J. (2025). Auditing in the blockchain: A literature review. *Frontiers in Blockchain*, 8, Article 1549729. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.3389/fbloc.2025.1549729>

