

El Futuro del Dinero Digital: Proyecto de Experimentación con Tokens Digitales y CBDC Mayorista

Colaboración entre el Banco de España y Minsait (Grupo Indra).
Informe Final 2025





Introducción:
Descripción y
objetivos
del programa

Página 3

01

Resumen
Ejecutivo

Página 1

02

03

Evaluación
de los casos
de uso

Página 5

Identificación de los retos
y oportunidades para la
implementación de una
wCBDC (wholesale Central
Bank Digital Currency) y un
bono tokenizado

Página 15

04

Resumen



Este documento refleja el proceso de exploración y posterior análisis de la posibilidad de integrar una Moneda Digital de Banco Central de carácter mayorista (en adelante, wCBDC) en los procesos tradicionales de liquidación y pagos, aprovechando tecnologías de registro distribuido (en adelante, DLT).

La colaboración¹ entre el Banco de España y Minsait-Indra tiene como objetivo llevar a cabo un experimento que permita comprender el impacto que dicha wCBDC podría tener en la eficiencia, seguridad y agilidad de las infraestructuras financieras que procesan operaciones del mercado mayorista.

A lo largo del documento, se analizan los diferentes casos de uso propuestos, enfocados en la simulación de la emisión, distribución y liquidación de una wCBDC, así como en su interacción con activos tokenizados. El análisis identifica tanto potenciales beneficios, como la reducción de costos operativos y tiempos de liquidación, así como algunos desafíos técnicos que conlleva su implementación.

Con base en los resultados del experimento, este informe ofrece conclusiones clave sobre la viabilidad de integrar una wCBDC en las infraestructuras actuales de pago mayorista, aportando información crítica para la toma de decisiones estratégicas a futuro.

¹- Convenio de colaboración entre Minsait y el Banco de España, publicado en el Boletín Oficial del Estado, disposición 9112, núm. 110, de 6 de mayo de 2024

Introducción: Descripción y objetivos del programa

02



Antecedentes

El Programa de Experimentación relativo a la utilización de Tokens Digitales surge en el contexto de las crecientes iniciativas lideradas por Bancos centrales para explorar el potencial de las monedas digitales, en particular las de carácter mayorista o wCBDC (*wholesale central bank digital currency*). A nivel global, estas iniciativas buscan mejorar la eficiencia, agilidad y seguridad en las infraestructuras financieras que procesan operaciones de gran valor, tanto de pagos como de liquidación de valores.

El Banco de España, como parte de su responsabilidad de promover el buen funcionamiento de los sistemas de pago y en línea con las tendencias internacionales, lanzó en diciembre de 2022 un programa de experimentación para evaluar el uso de tokens digitales en la liquidación de operaciones mayoristas. En este marco, el Banco de España ha establecido un convenio con Minsait, con el objetivo de realizar experimentos centrados en la integración de una wCBDC en plataformas de liquidación basadas en DLT.

Descripción

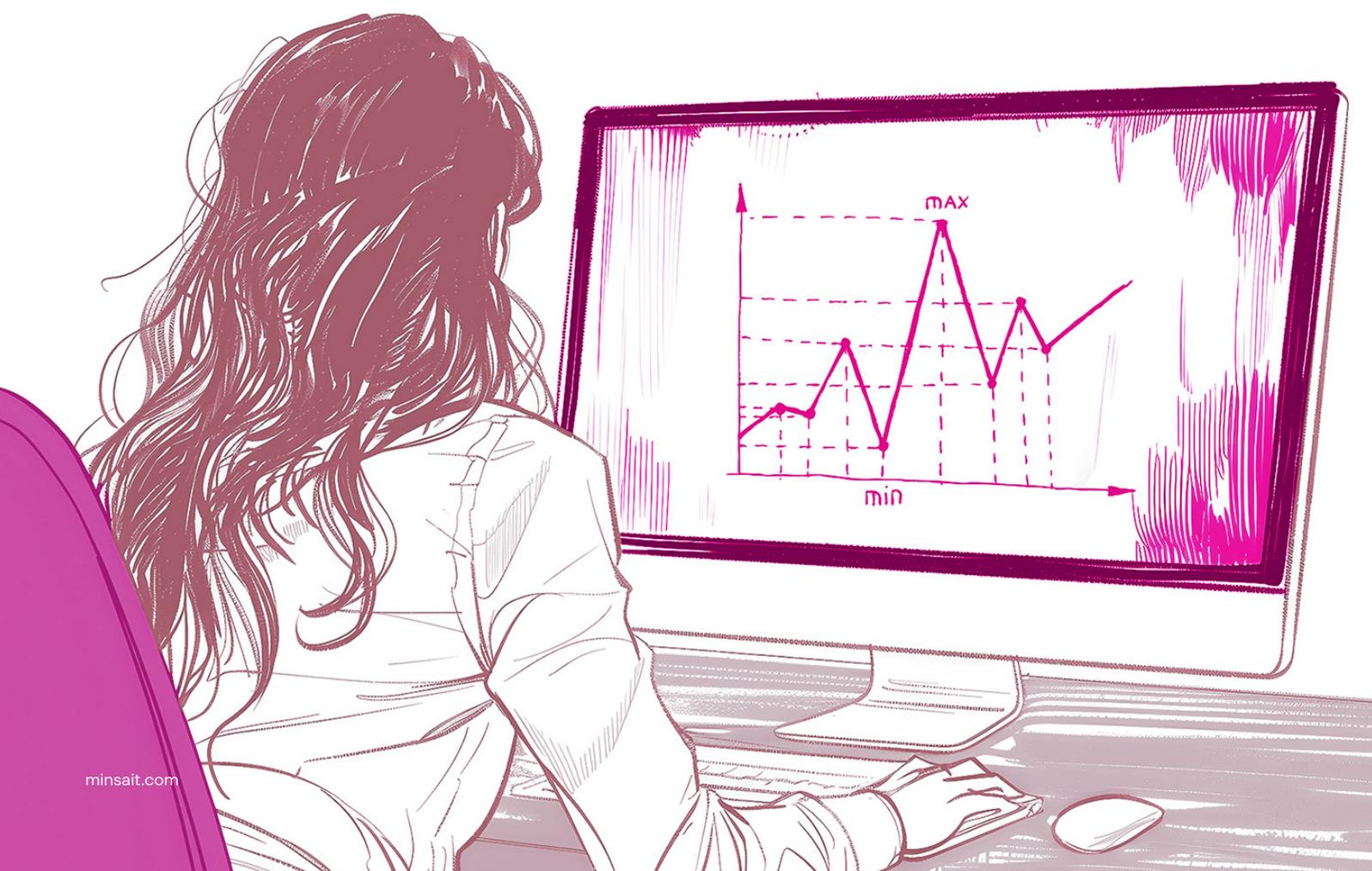
El Programa se centra en la experimentación con la emisión y liquidación de tokens digitales representativos de activos financieros en una plataforma DLT, en combinación con una wCBDC emitida por el Banco central. Para la realización de la experimentación se proponen diferentes casos de uso relativos al ciclo de vida de un bono y se divide el programa en fases de organización, diseño, construcción del prototipo, experimentación y realización del informe de conclusiones.

Objetivos

La experimentación se centra en dos dimensiones: probar la integración de una wCBDC con la liquidación de tokens de activos digitales en una sola plataforma DLT garantizando una liquidación atómica de la operación, y profundizar en los detalles específicos sobre la implementación de una wCBDC para proporcionar evidencias prácticas sobre las posibles ventajas o desventajas de la introducción de una wCBDC respecto a los procesos, procedimientos e infraestructuras tradicionales identificando posibles áreas de mejora en los procesos actuales de liquidación.

Evaluación de los casos de uso

03



Descripción de cada caso de uso y su diseño en DLT (Distributed Ledger Technology)

Se realizó una propuesta de diferentes casos de uso que abarcan desde la creación, emisión y distribución de una wCBDC, hasta la creación, emisión y amortización de un bono, cubriendo de esta manera el ciclo de vida completo de dicho bono. Para el correcto desarrollo de estos casos de uso, se creó una plataforma basada en tecnología DLT que permite evaluar la viabilidad de los casos propuestos.

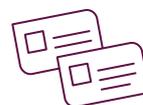
Este prototipo cuenta con varios Smart Contracts que han permitido la creación de los tokens, la asociación de las billeteras (wallets) y la transferencia de tokens entre diferentes Participantes. También se ha establecido una gestión de roles en la que se han atribuido permisos a los diferentes actores de la plataforma.

Una de las necesidades del negocio era la separación de dos partes:



Efectivo

Donde intervienen Bancos centrales y Bancos comerciales y se opera con tokens de efectivo que representan la wCBDC.



Valores

Donde intervienen los DCV (Depositorios Centrales de Valores) y Participantes y se opera con tokens de bono

Con el objetivo de poder obtener un mayor detalle de las transacciones realizadas dentro de la plataforma, se ha implementado un explorador de transacciones, que da una mayor visibilidad de los datos que obtiene el Smart Contract cuando se realiza una transacción. Blockscout es un explorador de Blockchain para Ethereum que permite a los usuarios visualizar, buscar o verificar transacciones.

Permite obtener el detalle del contrato al que se ha realizado la llamada para ejecutar la transacción, se pueden consultar balances y datos de rendimiento de la plataforma.

Emisión de dinero digital (Conversión)

Se simula la emisión y distribución de wCBDC, en donde un Banco central emite tokens de wCBDC en la plataforma y los distribuye a los Bancos comerciales a través de un contrato inteligente basado en el estándar ERC-20 de Ethereum. En la siguiente ilustración se muestran algunas de las funciones y eventos que genera el contrato.

SMART CONTRACT	Required Functions	Events
	Total Supply	Balance
	Transfer	Approve
	Transfer from	Allowance
		Transfer
		Approval

Elaboración propia

Se encuentran **tres roles** en este caso de uso:

Operador Encargado de crear el Smart Contract ERC-20 y registrar a los Bancos centrales

Bancos centrales Emiten nuevos tokens de wCBDC, crean a los Bancos comerciales y les distribuyen los tokens creados

Bancos comerciales Reciben los tokens de wCBDC

Los Bancos centrales y Bancos comerciales disponen de wallets de efectivo en las que pueden almacenar tokens de wCBDC. La información de estas wallets se almacena en base de datos. Se han implementado algunas validaciones a la hora de crear a los Bancos comerciales, que deberán ser verificados manualmente simulando algunos de los controles de KYC, de esta forma conseguimos un proceso simplificado que mantiene el enfoque en el objetivo del experimento y permite equilibrar entre un nivel mínimo de cumplimiento y evita una carga innecesaria de complejidad.



Emisión de un bono

En este caso de uso se simula el proceso de emisión y liquidación de un bono utilizando Smart Contracts y asegurando una liquidación atómica de la operación, es decir, la transferencia simultánea de tokens de wCBDC y tokens de bono. El proceso de emisión abarca la creación de Depositarios Centrales de Valores (DCV), la creación de los Participantes que suscriben la emisión, la asociación de Participantes y Bancos comerciales para gestionar la liquidación de la operación con wCBDC y la creación de los Smart Contracts por parte del Operador. Los DCV son los responsables de gestionar el ciclo de vida del bono, desde su creación hasta su amortización y correspondiente “quemado de tokens”. Las emisiones de los bonos no han sido limitadas a un “todo o nada”, sino que se ha diseñado de tal manera que sea posible realizar una suscripción parcial de la emisión. Esto se consigue gracias a los Smart Contracts, que debido a su flexibilidad y programabilidad permiten incluir funcionalidades que podrían facilitar un acceso al mercado más dinámico y adaptado a las necesidades de los inversores

Se persigue el objetivo de liquidar la emisión de un bono con dinero de Banco de central. Para ello, se realiza una asociación mediante contrato inteligente en la que un Participante establece un link con un Banco comercial, permitiendo que el Participante pueda adquirir los tokens de bono mientras el Banco comercial se encarga de liquidar la parte de efectivo asociada a la operación, transfiriendo al Banco comercial colocador de la emisión la cantidad de tokens de wCBDC correspondientes a la cantidad de tokens de bono que adquiere el Participante.

El contrato inteligente que se encarga de asociar las wallets de bonos de los Participantes y las wallets de efectivo de los Bancos comerciales se llama Smart Contract Wallets Link, el contrato inteligente que representa el token del bono está basado en el estándar ERC-1400, el contrato inteligente que gestiona el registro de los Participantes a la emisión se llama Smart Contract Securities Manager y el contrato inteligente que bloquea los tokens de wCBDC y los tokens de bono para realizar la liquidación atómica se llama Smart Contract DVP.

En la siguiente ilustración se muestran algunas de las funcionalidades principales del estándar ERC-1400, que es una extensión del estándar ERC-20.

SMART CONTRACT	Required Functions	Events
	Total Supply	Balance
	Transfer	Approve
	Transfer from	Allowance
	Partition	Redeem
		Transfer Approval

Elaboración propia

Los **roles** que se encuentran en este caso de uso son los siguientes:

Operador Encargado de crear los Smart Contracts, registrar a los DCV y gestionar los permisos de los Smart Contracts

DCV Registran a los Participantes, crean los tokens de bono y realizan la emisión del bono

Participantes Se registran a la emisión del bono y adquieren los tokens de bono en sus wallets

Bancos comerciales Liquidan la parte de efectivo y el banco colocador de la emisión recibe los tokens en su wallet de efectivo



Entrega contra pago de un bono

La entrega contra pago de un bono simula el proceso Delivery vs Payment, en el que un Participante transfiere tokens de bono a otro Participante. Para realizar este proceso se ha implementado un flujo en el que, el Participante que desea transferir los tokens de bono los pone en venta indicando los datos de la transacción, de esta manera el Smart Contract DVP bloquea los tokens de bono correspondientes.

Este primer paso genera un identificador único de la transacción que se llama UUID, que usará el Participante que desea adquirir los tokens que el otro Participante puso en venta y que el Smart Contract DVP ha bloqueado. Este segundo paso hace que el Smart Contract DVP bloquee los tokens de efectivo correspondientes en la wallet del Banco comercial asociado al comprador. Cuando se han bloqueado los tokens de efectivo y los tokens de bono, la operación se liquida de manera atómica, liquidando ambas partes simultáneamente.

Los **roles** que intervienen en este caso de uso son:

Participantes Introdúcen los datos de la transacción y transfieren los tokens de bono

Bancos comerciales Liquidan la parte de efectivo

Pago del cupón del bono

En este caso de uso se simula el pago del cupón a los tenedores del bono, es decir, se transfieren tokens de efectivo a los Bancos comerciales que tengan wallets asociadas a Participantes que posean tokens de bono. Se ha implementado que el pago del cupón se haga de manera automática o de manera manual para poder experimentar en directo.

Para realizar el pago, se hace una llamada al Smart Contract Securities Manager, que identifica a los tenedores del bono y al Smart Contract Wallets Link identifica las wallets de efectivo asociadas. Cuando se han identificado a los tenedores, el Smart Contract ERC-20 realiza la transferencia de tokens wCBDC a las wallets correspondientes.

En este caso de uso los **roles** que intervienen son:

DCV Tiene los permisos de los Smart Contracts que corresponden a la parte de securities y gestiona el pago del cupón

Bancos comerciales Realizan las transacciones de efectivo





Amortización del bono

Se simula la amortización del bono, es decir, llegada la fecha indicada en las características del bono, los tokens de bono se queman y los tokens de wCBDC correspondientes se transfieren a los Bancos comerciales. La fecha indicada se denomina “fecha de vencimiento”, y la cantidad que reciben los Bancos comerciales es el principal del bono más el pago del último cupón.

El Smart Contract DVP bloquea los tokens de wCBDC y los tokens de bono correspondientes, de esta manera se vuelve a conseguir una liquidación atómica y los tokens de bono se transfieren a una wallet en posesión del DCV donde se desactivan.

Los **roles** que participan en este caso de uso son:

DCV	Tiene los permisos de los Smart Contracts correspondientes a la parte de valores y es propietario de la wallet a la que se envían los tokens de bono para proceder a su “quema”
Participantes	Poseen los tokens del bono en sus wallets de valores
Bancos comerciales	Reciben la transferencia de tokens de wCBDC

Generación de informes

Para este caso de uso se han implementado varios endpoints que permiten realizar algunas consultas de datos de la plataforma, ya sean los actores creados, los bonos emitidos o las transacciones de Delivery vs Payment iniciadas.

Para obtener más información al respecto y poder profundizar en detalles técnicos de la plataforma se utiliza el explorador de transacciones, en el que se pueden consultar todas las transacciones realizadas en la plataforma y sus detalles (Smart Contracts que intervienen, tokens transferidos, tiempo, bloque en el que registra la transacción...)

En este caso de uso, el Operador cobra una gran importancia, ya que es el único actor de la plataforma que tiene visibilidad completa de la parte de efectivo y la parte de valores. Además de acceder al explorador de bloques para ver el detalle de todas las transacciones, el Operador puede filtrar las transacciones realizadas por cada actor, mostrando el detalle de cada una de las transacciones.

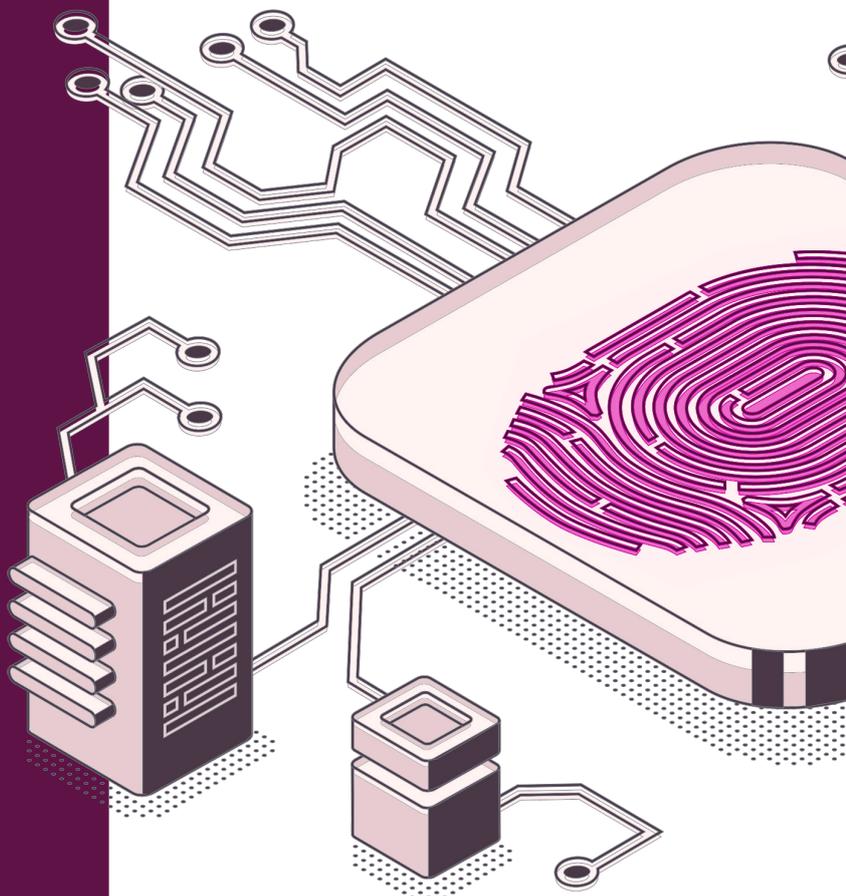
Evaluación de la **eficacia de la tokenización** para los escenarios de uso previstos

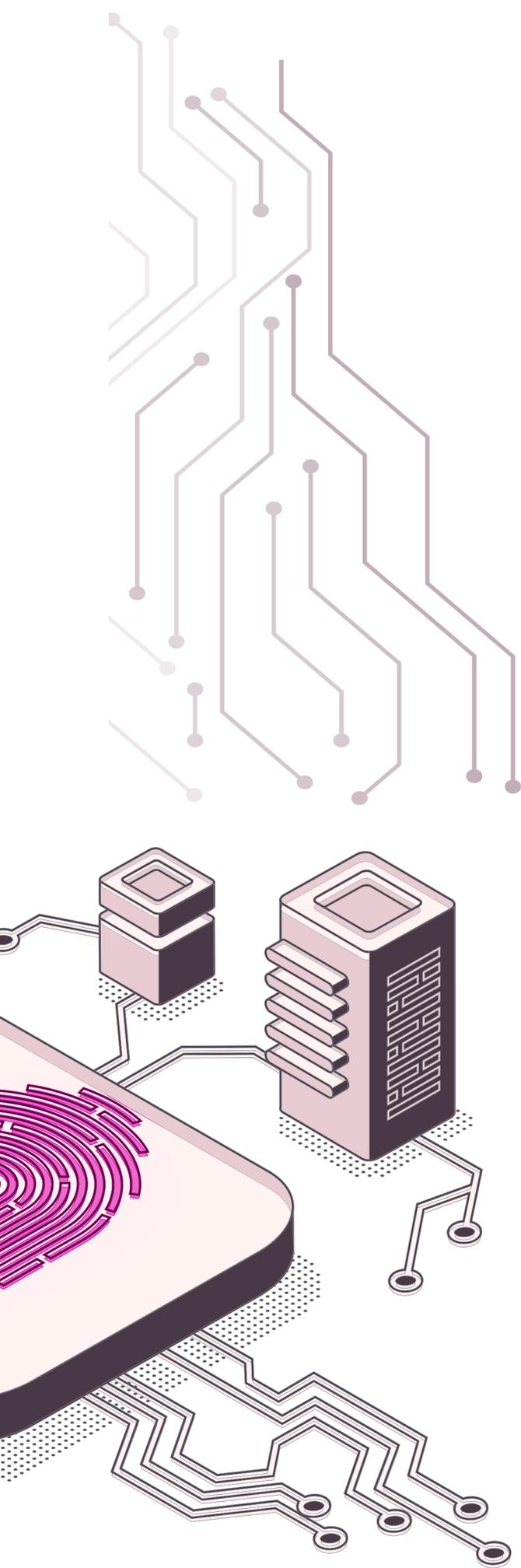
Áreas de mejora en la liquidación como proveedor de infraestructuras

Una vez realizados los experimentos, se han identificado algunas áreas de mejora respecto a los procesos de liquidación de valores tradicionales e infraestructuras como Target2Securities. Los experimentos se han llevado a cabo en el sistema y han permitido identificar unas posibles oportunidades de mejora en términos de eficiencia, seguridad y reducción de costes.

La plataforma basada en tecnología DLT podría permitir una interoperabilidad de los intermediarios más eficaz, optimizando sus funciones dentro de la plataforma, lo que supondría una reducción de los costes y una agilización del proceso de liquidación.

Los actores de la plataforma pueden interactuar con los Smart Contracts desplegados en la plataforma y de esta manera ahorrar tiempo y reducir riesgos, ya que estos contratos permiten la automatización de procesos, como el registro de los Participantes a la hora de la suscripción del bono, y alcanzar una liquidación atómica, asegurando que tanto la parte de efectivo como la parte de valores se liquidan al mismo tiempo.





Bancos comerciales y Participantes aprovechan también la minimización del riesgo de contrapartida, ya que gracias a la automatización que ofrecen los Smart Contracts, se consigue esta liquidación atómica, es decir, un proceso que implica la liquidación de ambas partes de forma simultánea. Con la liquidación atómica y los Smart Contracts, la liquidación se produce en tiempo real, permitiendo una compensación inmediata de las operaciones.

Una de las mejoras más destacables de la tokenización se encuentra en la eficacia con la que se pueden gestionar los bonos. Esto se debe, en gran medida, a la capacidad que presentan los Smart Contracts para automatizar una gran parte de los procesos, ya que la representación digital de estos bonos facilita la automatización al convertirlos en tokens digitales y permitir la programación de estos tokens para ejecutar acciones predeterminadas cuando se cumplen ciertas condiciones, lo que resulta en una reducción de tiempos y costes asociados a la ejecución manual.

Estas mejoras, gracias a los Smart Contracts y a la configuración de la plataforma, ofrecen una solución avanzada y una mejora significativa en la seguridad, tiempos de liquidación y reducción de riesgos

Evaluar el recorrido de negocio potencial asociado a la tecnología DLT en un nuevo modelo de servicios de pago y liquidación de bonos tokenizados



La tecnología DLT ha demostrado tener el potencial de transformar los servicios de pago y liquidación de valores al ofrecer un entorno más descentralizado, seguro y eficiente. En el contexto de la liquidación de valores, esto facilita la liquidación atómica, minimizando el riesgo de contrapartida y optimizando la gestión de la liquidez gracias a la automatización que ofrecen los Smart Contracts. Cabe resaltar la mejora de la transparencia y confianza de las partes gracias a la naturaleza inmutable y verificable de la tecnología DLT, que permite llevar una trazabilidad de las operaciones en tiempo real. En los modelos tradicionales, los actores dependen de intermediarios para verificar transacciones.

Con esta tecnología los procesos pueden automatizarse y algunos pueden llegar a eliminarse, brindando a los Participantes la oportunidad de tener una visibilidad completa de sus operaciones y a las autoridades tener un control más eficaz y menos costoso, ya que con la introducción de Smart Contracts, y una base de datos compartida, se podrían contemplar unos modelos de negocio alternativos.

Si nos centramos en la escalabilidad de la plataforma, las transacciones deben procesarse de manera rápida para cumplir con las expectativas de los usuarios y las necesidades de negocio. Aunque la tecnología DLT ofrece una infraestructura robusta, su estructura distribuida puede introducir latencias adicionales en comparación con otros sistemas. Para ello, los desarrolladores de la plataforma pueden ajustar la configuración de consenso y reducir el número de nodos para mejorar el rendimiento, siempre equilibrando entre seguridad y eficiencia.

En el prototipo se optó por utilizar los mínimos recursos posibles de cara a ahorrar costes de la experimentación, en concreto, se han hecho experimentaciones con **dos configuraciones diferentes:**

Configuración mínima con tolerancia a fallos

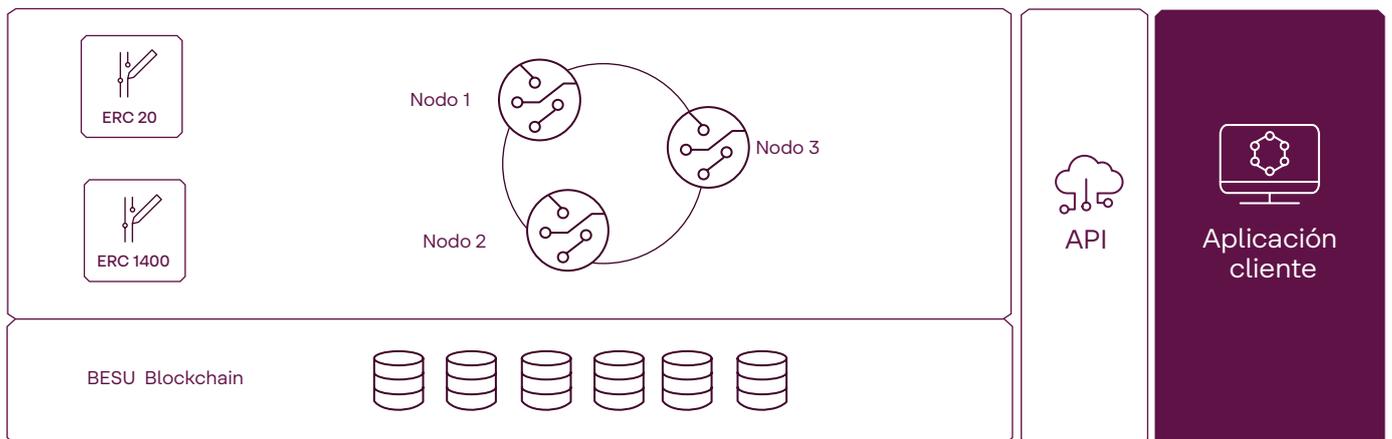
4 nodos validadores

que con consenso IBFT2, permite el fallo o el funcionamiento malintencionado de un nodo asegurando la correcta ejecución de las transacciones.

Configuración mínima de consenso

3 nodos validadores

que es el mínimo que permite IBFT2 para establecer consenso



En estos sistemas que procesan un elevado número de transacciones es fundamental que se cumplan los estándares regulatorios y de seguridad. La DLT ofrece gran variedad de medidas de seguridad, como la inmutabilidad de los datos o el cifrado avanzado de wallets y Smart Contracts. Con un diseño optimizado y unos mecanismos de control sólidos, la tecnología DLT, y en concreto la tecnología Blockchain, tienen el potencial de facilitar un nuevo modelo de servicios de liquidación, ofreciendo velocidad, seguridad y transparencia, incrementando la competitividad y promoviendo la innovación en los mercados financieros a nivel global.

Identificación de los retos y oportunidades para la implementación de una wCBDC y un bono tokenizado

D4



Uno de los retos que enfrenta la implementación de un sistema basado en Blockchain capaz de liquidar wCBDC y bonos tokenizados en una sola plataforma, es la forma en la que se introducen y se procesan los datos.

En los sistemas tradicionales encontramos el fenómeno “garbage-in, garbage-out”, que se refiere a la dependencia de la calidad de los datos introducidos en el sistema. Al integrar Smart Contracts en una DLT, se establecen unos mecanismos que pueden mejorar la calidad de la información introducida.



Automatización de procesos

Errores como códigos ISIN incorrectos, montos equivocados o fechas de liquidación que no coinciden pueden provocar el rechazo de las instrucciones o el fallo de la operación. La adopción de tecnologías como DLT, donde todos los participantes operan en una red compartida, ayuda a reducir estos problemas al garantizar una mayor sincronización.



Validación en tiempo real

Los Smart Contracts ejecutan procesos de validación automatizados sobre la información introducida antes de registrarla en la DLT. Si los datos no cumplen con las condiciones preestablecidas en el Smart Contract, la transacción o registro es rechazado automáticamente, evitando la entrada de información incorrecta o incompleta.



Trazabilidad y registro inmutable

Una ventaja clave de la tecnología DLT es la inmutabilidad y trazabilidad de la información registrada. Cualquier dato introducido en la red DLT queda registrado de forma permanente y auditable.

En contraste con los sistemas tradicionales, el modelo de liquidación en una sola plataforma DLT reduce, hasta prácticamente eliminar, el riesgo de la aparición del fenómeno “garbage-in, garbage-out”, mediante una arquitectura más simplificada y segura. La estructura que permite liquidar wCBDC y bonos tokenizados en una misma plataforma cuenta con un solo “Gateway”, que asegura que la información introducida en el sistema cumple con las reglas establecidas antes de ser procesada, minimizando la posibilidad de errores en los datos.



BANCO DE ESPAÑA
Eurosistema

Conectamos
talento, tecnología
y negocios para
generar crecimiento
e impacto positivo
y sostenible.

Avda. de Bruselas, 35
28108 Alcobendas
Madrid, Spain
T +34 91 627 10 00
info@minsait.com

minsait.com

Copyright © 2025 Minsait. Todos los derechos reservados. España