

Programa de experimentación en dinero digital mayorista (wCBDC)

Índice

1	Resumen ejecutivo	3
2	Introducción	4
3	Marco teórico de la wCBDC	6
4	Introducción al programa de experimentación	7
5	Definición de la iniciativa planteada por el mercado español	9
5.1	Visión del caso de uso	9
5.2	Definición técnica de la iniciativa	11
5.3	Playbook	13
6	Resultados de la experimentación	22
7	Conclusiones de la experimentación	24
8	Próximos pasos	25
	Anexo 1. Tipos de activos digitales para las liquidaciones	26
	Anexo 2. Iniciativas globales en torno a las wCBDC	27
	Anexo 3. Diferentes alternativas dentro del Eurosistema	29
	Bibliografía	31

1 Resumen ejecutivo

La experimentación realizada por BME e Iberpay, con la participación de grandes custodios del mercado español (Banco Cooperativo Español, BNP Paribas, CACEIS Bank Spain, CaixaBank, Cecabank, Kutxabank Investment, Banco Sabadell, Renta 4 Banco, Société Générale y Unicaja, en colaboración con el Eurosistema, ha evaluado el potencial de la tecnología de registros distribuidos (DLT) para transformar los procesos de liquidación de activos financieros tokenizados mediante el uso de dinero digital mayorista emitido por bancos centrales (wCBDC). Este trabajo se enmarca en un programa de experimentación impulsado por el Banco Central Europeo (BCE) durante 2024, orientado a comprender mejor estas tecnologías, obtener retroalimentación consistente de diferentes actores y participantes del mercado, así como para impulsar la innovación financiera.

Deloitte ha colaborado con BME e Iberpay en el análisis e interpretación de los resultados en base a su experiencia en Activos Digitales y Post-Trade, aportando reflexiones sobre el impacto del uso de una wCBDC para el mercado español. Estas reflexiones han sido analizadas y adaptadas por BME e Iberpay para su incorporación a esta publicación.

La iniciativa española ha validado la posibilidad de emitir, distribuir y liquidar bonos digitales bajo el principio de entrega contra pago (DvP), conectando dos plataformas tecnológicas basadas en DLT: la Digital Bond Platform (DBP) desarrollada por BME, destinada a gestionar valores tokenizados, y la plataforma Distributed Ledger for Securities Settlement System (DL3S) del Banco de Francia, responsable de gestionar el efectivo digital mediante Exploratory Cash Tokens (ECT).

El experimento abarca cuatro casos de uso clave en el ciclo de vida del bono digital: emisión, liquidación OTC (operaciones extrabursátiles, por sus siglas en inglés Over-the-Counter), pago de cupones y amortización final. En

total, se han realizado 210 operaciones, con un volumen de efectivo digital movilizado que asciende alrededor de 29,6 millones de euros.

Los resultados muestran la capacidad técnica del mercado español para implementar soluciones interoperables con infraestructuras emergentes y tradicionales, como TARGET. El experimento también destaca la posibilidad de que entidades no participantes en T2S accedan a plataformas DLT, ampliando el acceso a un mayor número de actores en el ecosistema financiero.

Los próximos pasos incluyen avanzar en la integración tecnológica y operativa entre plataformas DLT y las infraestructuras tradicionales de liquidación, mejorar la arquitectura tecnológica para garantizar escalabilidad y disponibilidad continua, y establecer un marco regulatorio robusto. Para la adopción efectiva de la wCBDC, es fundamental establecer una colaboración fluida entre el sector público y privado. Será clave definir estándares claros y garantizar su integración con las infraestructuras financieras existentes.

→ Acerca de

Iberpay

2 Introducción

Nuevos modelos de liquidación en el ecosistema de los activos digitales

La tokenización está transformando los mercados financieros tradicionales al mejorar la eficiencia en la gestión de activos y las transacciones financieras. Inicialmente aplicada en los mercados de criptoactivos, esta tecnología ha evolucionado hacia entornos financieros regulados, donde se explora su potencial para resolver fricciones existentes y generar nuevos casos de uso innovadores.

Este impulso hacia la tokenización de activos tradicionales está provocando una creciente demanda de infraestructuras financieras basadas en redes DLT, que sean capaces de operar de manera eficiente y confiable en este nuevo ecosistema. Para ello, se requiere un medio de pago digital basado en una unidad monetaria de referencia, que permita denominar las operaciones y garantizar la liquidación de transacciones. En particular, los mecanismos de *Delivery versus Payment* (DvP) y *Payment versus Payment* (PvP), basados en tecnología de registro distribuido (DLT), destacan la posibilidad de evolucionar hacia un dinero tokenizado. Sin esta forma de dinero, transacciones clave, como la venta de bonos o acciones tokenizadas, no podrían aprovechar plenamente el potencial de la tokenización y sus beneficios para los mercados financieros.

Delivery versus Payment - DvP

Las transacciones *Delivery versus Payment* (DvP) fortalecen la estabilidad y eficiencia de los mercados financieros globales, ya que garantizan que la transferencia de valores se realice únicamente cuando se ha efectuado el pago correspondiente, mitigando significativamente el riesgo de contrapartida. En 2023, las transacciones DVP y *Free Of Payment* (FOP) representaron la mayor parte del tráfico procesado en T2S (Banco Central Europeo, 2023). Según el Banco De España, en abril de 2023 se liquidaron en promedio 675.000 transacciones diarias, de las cuales 472.000 fueron operaciones DvP, alcanzando una eficiencia del 93,72% en la liquidación, subrayando su relevancia en la optimización de procesos y reducción de riesgos (Banco de España, 2023).

El elevado volumen de transacciones y la necesidad de mejorar la eficiencia en la liquidación resaltan la necesidad de explorar soluciones tecnológicas avanzadas, como la liquidación basada en DLT, para superar las limitaciones y riesgos operativos inherentes al sistema actual. El proceso actual de liquidación de valores involucra a varios actores del mercado, como “brokers”, custodios, depositarios centrales de valores y cámaras de compensación. Por tanto, es necesario ejecutar numerosas instrucciones de mensajería, ejecutar los pagos y gestionar los procedimientos de reconciliación. Esto abre oportunidades para mejorar la eficiencia del proceso, reducir costes y minimizar los riesgos operativos a través de una evolución hacia sistemas más optimizados. Al incluir el modelo de liquidación tokenizado y una plataforma de valores tokenizada, muchos de estos riesgos operativos podrían reducirse al acortar los plazos en la liquidación reduciendo el número de actores involucrado en el proceso. Además, la liquidación simultánea de los valores y el efectivo podría reducir los riesgos de contraparte a los que se exponen las entidades en la actualidad.

Este es uno de los motivos por los que la Comisión Europea aprobó un régimen piloto de infraestructuras del mercado basadas en la tecnología de registro distribuido (Reglamento 2022/858, comúnmente conocido como *DLT Pilot Regime*) en el que permite la emisión, negociación y liquidación de instrumentos financieros en tecnología blockchain. Este Régimen Piloto establece que, en la liquidación de operaciones con valores negociables basados en DLT, el Sistema Multilateral de Negociación (SMN) debe garantizar que el pago por parte del comprador se produzca simultáneamente con la entrega de los valores por parte del vendedor (entrega contra pago). Para fomentar esa inmediatez, resulta clave considerar la emisión de un modelo de liquidación tokenizado que pueda integrarse en la operativa de los sistemas de negociación y liquidación o, al menos, garantizar la interoperabilidad.

Payment versus Payment - PvP

Las transacciones transfronterizas son también fundamentales en la economía global, con volúmenes diarios que ascienden a billones de euros. En 2023, según la Organización Mundial del Comercio, el tráfico mundial

de servicios comerciales creció un 9%, impulsado por la recuperación de los viajes internacionales y el auge de los servicios digitales, destacando la creciente interconexión económica global (World Economic Forum, 2024). Además, se prevé que el valor de las transacciones transfronterizas, incluidos los pagos mayoristas entre instituciones financieras, las transferencias minoristas y las remesas, alcance los 250 billones de dólares en 2027, frente a los 150 billones de dólares de 2017 (Financial Times, 2024).

Sin embargo, estas transacciones no están exentas de desafíos. Los modelos de *Payment versus Payment* (PvP), utilizados principalmente en el ámbito transfronterizo, implican el intercambio de activos o divisas entre instituciones financieras domiciliadas en diferentes jurisdicciones. Estas liquidaciones suelen depender de otras entidades con acuerdos internacionales (como CLS para liquidar transacciones de FX o los Depositarios Centrales de Valores Internacionales (ICSD) para liquidar transacciones de valores transfronterizos) o de redes de intermediarios que aprovechan los acuerdos nacionales (por ejemplo, la banca corresponsal). Aunque estos mecanismos facilitan las transacciones, su alcance es limitado, cubriendo solo algunas divisas, activos y

entidades financieras con capacidad para realizar estos movimientos, lo que genera que las liquidaciones transfronterizas sean procesos lentos, opacos y costosos que pueden implicar grandes riesgos.

Por lo tanto, en el campo de las transacciones PvP se puede encontrar igualmente un área de mejora sustancial al aplicar tecnologías de entorno distribuido (DLT). El intercambio de divisas o las transacciones comerciales podrían realizarse de manera instantánea, lo que reduciría sustancialmente el riesgo de contrapartida, aumentando igualmente la eficiencia y la seguridad en las transacciones

En conclusión, dada la magnitud actual de las operaciones, las ineficiencias de ciertos procesos y la proliferación de proyectos que buscan mejorar estos mediante la tecnología DLT en los procesos de PvP y DvP, es fundamental que tanto entidades públicas como privadas exploren diversos métodos para asegurar medios de liquidación de efectivo tokenizados confiables desde el punto de vista regulatorio y técnico. Esto proporcionará una base sólida para los casos de uso emergentes en la industria de los mercados de capitales, mejorando la eficiencia, seguridad y transparencia en las transacciones financieras.



3 Marco teórico de la wCBDC

Aunque comparten funciones similares como sistemas de liquidación y medios de pago, existen diversas soluciones de dinero digital diseñadas para ofrecer valor estable y líquido en entornos digitales, las cuales difieren en el respaldo de activos, regulación y diseño¹. Entre ellas, se incluyen:

- **Depósitos tokenizados:** es una representación digital de un depósito bancario tradicional emitido utilizando redes DLT. Se trata de un pasivo de los bancos comerciales utilizado en transacciones comerciales, pagos intra/interbancarios y registros internos.
- **E-money tokens:** activo digital emitido por una entidad regulada, respaldado íntegramente por moneda fiduciaria, y diseñado para ser utilizado como medio de pago. En el contexto europeo, estos activos están definidos y regulados bajo el Reglamento MiCA, que exige la convertibilidad 1:1 con la moneda de referencia y su emisión por entidades autorizadas, sujetas a requisitos similares a los del dinero electrónico tradicional.
- **wCBDC (wholesale Central Bank Digital Currency):** es una versión digital del dinero emitido por un banco central que está diseñada específicamente para ser utilizada por instituciones financieras reguladas, como bancos comerciales y otras entidades autorizadas que participan en los sistemas de pago mayorista, su uso está restringido al sector financiero para transacciones entre entidades financieras e instituciones de ámbito mayorista.

Debido a sus características, las wCBDC son especialmente beneficiosas para pagos interbancarios y la liquidación de transacciones con activos tokenizados a nivel global. Esto se debe a que las wCBDC pueden proporcionar un activo de liquidación seguro y eficiente, prácticamente libre de riesgos crediticios y de liquidez.

En contraste, los depósitos tokenizados y los e-money tokens, emitidos por entidades privadas, permiten la redención a valor nominal en moneda soberana. Sin embargo, estos instrumentos presentan diferencias en su transferencia y rol dentro del sistema financiero, lo que puede afectar a su complementariedad con las CBDC.

A lo largo de estos años, han surgido numerosas iniciativas que exploran los beneficios que las tecnologías de entorno distribuido ofrecen a los ecosistemas actuales². Sin embargo, la importancia que tiene el uso de las wCBDC en la industria hace que sea necesario desarrollar iniciativas que integren la gestión del efectivo en dinero mayorista.

La importancia de las wCBDC

Las infraestructuras del mercado financiero (FMI) son fundamentales para la estabilidad financiera, ya que su funcionamiento está vinculado a los activos de liquidación. Según los *Principios para Infraestructuras de Mercado Financiero* (PFMI) del BIS (2012), el dinero de banco central (CeBM) es preferido por eliminar riesgos de crédito y liquidez, garantizar transacciones irrevocables y reforzar la estabilidad financiera como activo seguro y confiable.

Sin embargo, la disponibilidad del dinero de banco central no siempre está garantizada, ya que algunas cuentas o servicios pueden ser inaccesibles o no operar en horarios necesarios. Por ello, las FMI recurren al dinero de banco comercial (CoBM), que, aunque accesible, conlleva riesgos de crédito y liquidez, como la pérdida de acceso a fondos en caso de insolvencia. Para reducir estos riesgos, las FMI implementan estrictos controles sobre solvencia, capitalización y regulación de los bancos comerciales.

La transición hacia la tokenización exige integrar el dinero público de bancos centrales en los ecosistemas DLT para mejorar eficiencia y automatización. Las wCBDC destacan como opción para reforzar la seguridad en liquidaciones, reducir riesgos de contraparte y actuar como activo de referencia en infraestructuras sistémicas, incorporando funcionalidades avanzadas de tokenización (BIS, 2023).

Por otra parte, una wCBDC debería integrarse con plataformas DLT y sistemas tradicionales de liquidación, como TARGET, mediante soluciones innovadoras, como su emisión directa en DLT o bridges tecnológicos que faciliten la conexión entre ambas infraestructuras. El Eurosistema explora la interoperabilidad, crucial ante el surgimiento de plataformas DLT sin sistemas de liquidación normalizados, donde una wCBDC podría desempeñar un papel central.

¹ En el anexo 1 se incluye un diagrama que detalla las características de los depósitos tokenizados, e-money tokens y wCBDC, analizando aspectos como el emisor, la regulación, los casos de uso y otras consideraciones relevantes.

² Consulte el Anexo 2 para ver ejemplos concretos.

4 Introducción al programa de experimentación

Objetivo del experimento

Desde hace un tiempo, la industria ha manifestado la necesidad de un diálogo más estrecho con el Eurosistema para seguir explorando nuevas tecnologías para la liquidación en dinero del banco central. Por ello, el 13 de diciembre de 2023, el Banco Central Europeo (BCE) publicó una convocatoria de manifestaciones de interés (*call for expressions of interest*) para participar en trabajos de experimentación sobre la liquidación de activos financieros tokenizados en wCBDC, que se desarrollarían durante 2024.

Previamente durante 2022, el Eurosistema lanzó el grupo de trabajo NTW-CG (*New Technologies for Wholesale settlement Contact Group*) con el objetivo de analizar el impacto de las nuevas tecnologías en la liquidación de activos financieros. Dentro de este marco, se estableció un programa para evaluar distintas soluciones que integren dinero de banco central en entornos DLT.

Según el documento “Introducción al NTW-CG” del Banco Central Europeo, el trabajo del Eurosistema tiene tres objetivos principales, además de asegurar que el dinero del banco central siga siendo un pilar de estabilidad, integración y eficiencia del sistema financiero y de pagos europeo (Banco Central Europeo, 2023):

- Mejorar el conocimiento y la comprensión del Eurosistema sobre las diferentes soluciones.
- Obtener retroalimentación del mercado de manera consistente y coordinada sobre las distintas soluciones potenciales.
- Demostrar el interés y la disposición del Eurosistema para apoyar la innovación.

Para alcanzar estos objetivos, el trabajo de experimentación se estructuró en torno a nueve áreas clave, principalmente relacionadas con el DvP, las cuales se agruparon en dos enfoques distintos (Banco Central Europeo, 2023):

- Objetivos valorados para analizar el comportamiento de las tecnologías de entorno distribuido en las distintas iniciativas planteadas, tanto *trials* (iniciativas para la liquidación real con dinero de Banco Central disponible durante un período limitado de tiempo) como *experiments* (iniciativas para la liquidación simulada en entornos de prueba):

- **Rendimiento y eficiencia en liquidaciones:** evaluar DvP según latencia, escalabilidad y liquidación instantánea y “atómica”.
- **Confiabilidad y seguridad:** evaluar la resiliencia y seguridad de las infraestructuras DLT en la liquidación de activos.
- **Gestión de información:** revisar privacidad, transparencia y conciliación en plataformas DLT.
- **Características de automatización:** evaluar la automatización en el DvP, incluyendo pagos de cupones y el valor de la programabilidad en el efectivo (cash leg).
- **Integración de soluciones de interoperabilidad con nuevos entornos (DLT de mercado):** validar conectividad técnica y operativa con DLT del mercado.
- **Consumo energético:** evaluar la eficiencia en el uso de recursos y explorar soluciones que optimicen su consumo.

- Objetivos adicionales revisados en profundidad:

- **Integración de soluciones de interoperabilidad con entornos existentes (TARGET Services):** comprender cómo podrían integrarse las diferentes soluciones con los Servicios TARGET y su posible diseño de producto en un estado operativo estable. Esto se complementa con el feedback de los operadores de la DLT del mercado.
- **Gestión de liquidez y finalización de liquidaciones:** implementar mecanismos de gestión de

liquidez y analizar las implicaciones técnicas y operativas de un posible horario de operación 24/7.

- **Análisis preliminar y cualitativo de costes:** estimar a alto nivel los costes y complejidades de conectar soluciones de interoperabilidad a múltiples plataformas DLT.

Con respecto a los temas revisados mediante *trials* y *experiments*, el Eurosistema se centró en tres áreas clave: pagos domésticos, operaciones relacionadas con valores, y casos internacionales con liquidación de divisa transfronteriza.

Cada área aborda desafíos específicos del sistema financiero mediante la integración de tecnologías innovadoras como la DLT.

Para investigar y probar todos los temas y casos de uso mencionados, se emplean tres soluciones basadas en la interoperabilidad entre plataformas DLT del mercado e infraestructuras del banco central para la liquidación en wCBDC. Los detalles específicos de estas soluciones se desarrollan en el anexo 3 de este documento.

Figura 1. *Trials* y *experiments* del Eurosistema.

 Pagos Domésticos	 Valores negociables	 Casos Internacionales
Automatización de Margin Calls para la reducción del riesgo operativo y cumplimiento de garantías.	Emisión y distribución directa de valores para simplificar procesos y mejorar la accesibilidad.	Liquidación PvP de divisas en DLT para reducir riesgos y sincronizar transacciones entre monedas.
Transferencias de depósitos tokenizados para aumentar la eficiencia en los pagos digitales.	Liquidación de transacciones en mercados secundarios para acelerar las operaciones.	
Automatización de reconciliaciones y liquidaciones interbancarias en tiempo real.	Automatización del ciclo de vida de valores , incluyendo pagos de cupones y redenciones, para optimizar la gestión de activos.	
	Liquidaciones de operaciones de repos en tiempo real para mejorar la transparencia y eficiencia.	
 Bancos Comerciales  CCPs	 Bancos Comerciales  Plataformas de Trading  CCPs  Inversores y Emisores	 Bancos Centrales
Experiments	Trials - Experiments	Experiments

5 Definición de la iniciativa planteada por el mercado español

5.1 Visión del caso de uso

El caso de uso español propuesto tiene como objetivo principal explorar una solución para la emisión y liquidación de bonos digitales mediante tecnología blockchain. En concreto, la iniciativa se centra en simular operaciones de liquidación de bonos tokenizados con dinero de banco central bajo el principio de entrega contra pago (DvP). La liquidación DvP se llevó a cabo mediante la interconexión de dos redes basadas en tecnologías DLT diferentes: una operada por BME, que aloja los valores tokenizados, y otra gestionada por el Banco de Francia, donde se encuentra el efectivo digital o *Exploratory Cash Tokens* (ECT) siendo esta última una de las tres soluciones ofrecidas dentro del marco de experimentación. Este proceso fue diseñado para garantizar una liquidación atómica, es decir, que el intercambio de activos ocurriera de forma instantánea y bajo el principio de “todo o nada”, incluso en el contexto de dos plataformas sincronizadas.

Para la idea propuesta, se aprovechó la iniciativa desarrollada por BME durante 2022, *BME Bono Digital* (BME, 2023)^{1,2}, donde se implementó una plataforma DLT para realizar el ciclo de vida de un bono en un entorno productivo regulado. Así, mediante la experimentación, se pudo estudiar el comportamiento de un ciclo de vida de un bono, simulando procesos como la operativa entre ambas plataformas DLT, la emisión de ECT y la simulación de la liquidación de bonos tokenizados, sin necesidad de implementar un entorno real. La decisión de realizar un experimento se alinea con la necesidad de evaluar la viabilidad, escalabilidad y eficiencia de la solución, evitando la potencial complejidad operativa asociada a un *trial* en condiciones reales. De esta manera, además, la iniciativa consiguió una participación más alta del mercado español, cuyos intereses estaban basados en el aprendizaje y la armonización.

El experimento se ha organizado con la colaboración de BME e Iberpay junto con la participación de grandes custodios del mercado español, tales como Banco Cooperativo Español, BNP Paribas, CACEIS Bank Spain, CaixaBank,

Cecabank, Kutxabank Investment, Banco Sabadell, Renta 4 Banco, Société Générale y Unicaja. Estas entidades, comprometidas con la innovación, decidieron formar parte del proyecto para explorar las posibilidades que ofrece la tecnología DLT en la emisión y liquidación de valores digitales, asegurando así que las soluciones desarrolladas respondan a las necesidades reales del sector financiero. BME, con su *know-how* como operador de infraestructuras de mercado y su experiencia previa en proyectos como *BME Bono Digital*, contribuyó con su capacidad para conectar tecnologías tradicionales y emergentes, asegurando un manejo adecuado de la tokenización y la liquidación de valores. Iberpay, como infraestructura crítica de pagos y referente en el ámbito de los pagos digitales, aportó su experiencia en iniciativas como *Smart Money*³, focalizando sus esfuerzos en la exploración de la distribución de wCBDC y sus aplicaciones prácticas. Adicionalmente, Deloitte, se ha centrado en la elaboración del Whitepaper, aportando experiencia en proyectos regulatorios del BCE y conocimientos específicos en infraestructuras de mercado.

Este esfuerzo conjunto combina conocimientos técnicos, experiencia práctica y perspectivas regulatorias, lo que ha dado lugar a una iniciativa compleja debido al número de actores involucrados. A lo largo del proceso, se han requerido diversos replanteamientos sobre la idea inicial, como la segmentación de los participantes en grupos de custodios y la emisión de más de un bono frente a lo inicialmente previsto, con el fin de soportar la volumetría de transacciones esperada. Sin embargo, estos ajustes han permitido aportar diversas perspectivas a la experimentación, logrando ejecutar la iniciativa con éxito.

De esta forma, la iniciativa propuesta contribuye al objetivo inicial de experimentar con la emisión de dinero digital mayorista planteado por el Eurosistema, una visión distinta en relación con la experimentación como comunidad financiera. Esto, además, apoya al Banco Central Europeo en materia de exploración sobre los posibles cambios de paradigma en la gestión de activos digitales dentro de las transacciones financieras mayoristas.

1 BME finaliza con éxito su participación en el programa de experimentación del BCE para la liquidación de operaciones de pago utilizando tokens digitales.

2 Paper-Digital-Bond-20July.pdf

3 Iniciativa SMART MONEY – Iberpay - Preparación sectorial ante el posible lanzamiento del euro digital o de un dinero digital bancario.

Infraestructuras y roles clave

El diseño técnico del caso de uso se basa en la interoperabilidad entre dos infraestructuras principales:

1. Red *Digital Bond Platform*, DBP (BME):

Es la plataforma diseñada para gestionar la liquidación de valores digitales o tokenizados. Su función principal es administrar las órdenes de liquidación, asegurando que las transferencias de los bonos digitales entre las cuentas de los participantes se realicen de manera eficiente y segura. También permite la liquidación contra pago mediante la interconexión con las plataformas de gestión de efectivo tokenizado, como es el caso de esta experimentación.

2. Red *Distributed Ledger for Securities Settlement System*, DL3S (Banco de Francia):

Es la plataforma encargada de gestionar la emisión y distribución de los *Exploratory Cash Tokens* (ECT). Simula la creación de dinero digital en el ámbito de la experimentación, emitiéndolo en los wallets de los participantes, proporcionando un entorno controlado para probar su circulación y uso en el sistema financiero experimental.

Para garantizar la eficacia de esta solución, se han definido los siguientes roles clave:

Figura 2. Roles y funciones.

Rol		Funciones
1	CSD	Orquestador de la Red-DBP, encargado de generar las posiciones y gestionar la emisión de bonos digitales.
2	Banco Central	Orquestador de la Red-DL3S, encargado de generar las posiciones y gestionar la emisión de ECT.
3	Gestor de efectivo	Responsable de los wallets y el efectivo, operando como intermediario entre los inversores, que participan a través de los custodios, y el Banco de Francia. Además, gestiona y facilita las solicitudes de emisión de ECT.
4	Entidad agente	Representa al emisor en la gestión de operaciones de dinero digital, notifica al CSD las características de la emisión, y gestiona los eventos corporativos.
5	Custodios	Actúa en nombre de los inversores, gestionando sus wallets de valores y efectivo.
6	Inversores	Realiza las operaciones relacionadas con la adquisición de los bonos.

5.2 Definición técnica de la iniciativa

Para la implementación de la iniciativa presentada, se han evaluado las tres plataformas de gestión de efectivo presentadas por el Eurosistema, dentro del programa de experimentación.

La plataforma de bonos digitales de BME, DBP, se centra exclusivamente en la gestión del ciclo de vida de los valores tokenizados. Esta plataforma permite generar instrucciones contra pago o de gestión de efectivo, pero no interviene en el flujo de efectivo asociado, el cual se gestiona en una plataforma externa. La iniciativa se diseñó aprovechando la estructura tradicional de registro de valores en España, basada en un sistema de doble escalón⁴.

La plataforma BME-DBP se desarrolló como un sistema basado en tecnología blockchain, con una red privada y permissionada construida sobre *Hyperledger Besu*, una implementación de Ethereum optimizada para aplicaciones empresariales. Una característica destacada de esta red es su naturaleza privada y con permisos restringidos, lo que limita el acceso a las cuentas designadas. Este enfoque mejora las medidas de seguridad al asegurar que solo las partes autorizadas puedan participar en las transacciones dentro de la red. Además, la red está diseñada con un número limitado de nodos para optimizar los tiempos de procesamiento de transacciones.

Otra ventaja clave de la red es su diseño libre de “gas”, lo que permite a cualquier dirección de la DLT enviar transacciones sin necesidad de saldo ni restricciones adicionales. Esto facilita la accesibilidad y garantiza un proceso de liquidación eficiente. También destaca la implementación del algoritmo de consenso QBFT, basado en prueba de autoridad, elegido por su capacidad para proporcionar altos niveles de seguridad e integridad sin comprometer la eficiencia operativa.

La solución propuesta por el Banco de Francia, DL3S (*Distributed Ledger for Securities Settlement System*), implementa una plataforma DLT privada basada en *Hyperledger Fabric*. En este entorno, se emiten *Exploratory Cash Tokens* (ECT) para simular y evaluar su funcionalidad en operaciones de liquidación de bonos. En concreto, todas las operaciones con ECT (*mint, burnt, settlement*) se realizan exclusivamente en la red DL3S del Banco de Francia, mientras que las operaciones con bonos digitales se gestionan en la plataforma de valores correspondiente.

En el marco de la experimentación de la comunidad española, se ha determinado que DL3S proporciona las funcionalidades necesarias para que la red DBP de BME pueda sincronizarse y ejecutar la gestión del efectivo mediante protocolos HTLC, sin introducir complejidades operativas innecesarias.

Figura 3. Fuente: BME.



⁴ Dado que se trata de una experimentación, se ha eliminado la interacción con el Registro General de Iberclear-T2S, así como todos los requerimientos de reporting y regulatorios asociados, permitiendo un MVP más eficiente y simplificado. En consecuencia, el esquema presentado refleja únicamente el nivel de registro a nivel de custodios en la DLT, ajustándose a la operativa implementada en este entorno experimental.

Arquitectura

En cuanto a la arquitectura de la plataforma, BME-DBP se desarrolló aplicando las mejores prácticas de arquitectura moderna, adoptando enfoques como: *Domain Driven Design* (DDD, Diseño Guiado por el Dominio), *Command Query Responsibility Segregation* (CQRS, Separación de Responsabilidades de Consulta y Comando) y *Event-Driven Architecture* (EDA, Arquitectura Basada en Eventos).

La Plataforma de BME fue diseñada mediante el despliegue de una serie de contratos inteligentes (*smart contracts*). Estos contratos cumplen una doble función: principalmente,

facilitaron la gestión de diversas emisiones de bonos y, además, implementaron las funcionalidades que abarcan todo el ciclo de vida de los bonos, incorporando elementos tanto de los mercados primarios como secundarios, así como eventos corporativos. Como resultado, este enfoque permitió una trazabilidad total de todas las actividades relacionadas con los bonos.

La integración entre las plataformas del Banco de Francia y BME se llevó a cabo mediante el protocolo HTLC (*Hashed Time-Locked Contracts*), apoyado en una capa de comunicación basada en API REST sobre HTTP. Este mecanismo HTLC permite pagos condicionales vinculados a un límite

Figura 4. Fuente: Banco de Francia.

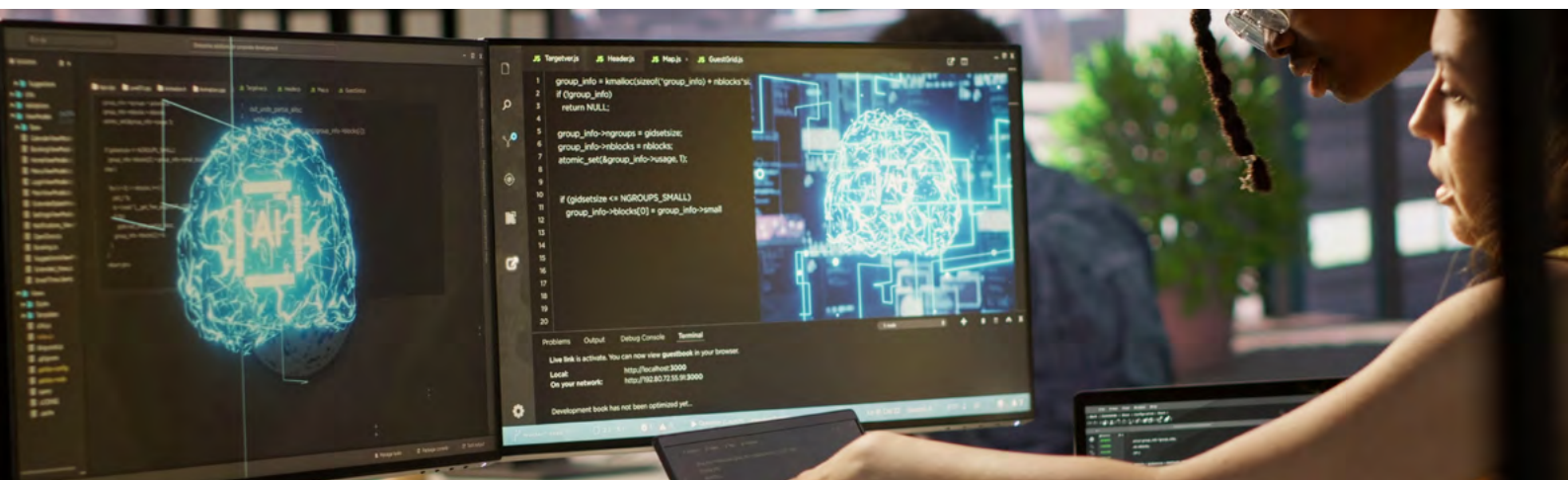
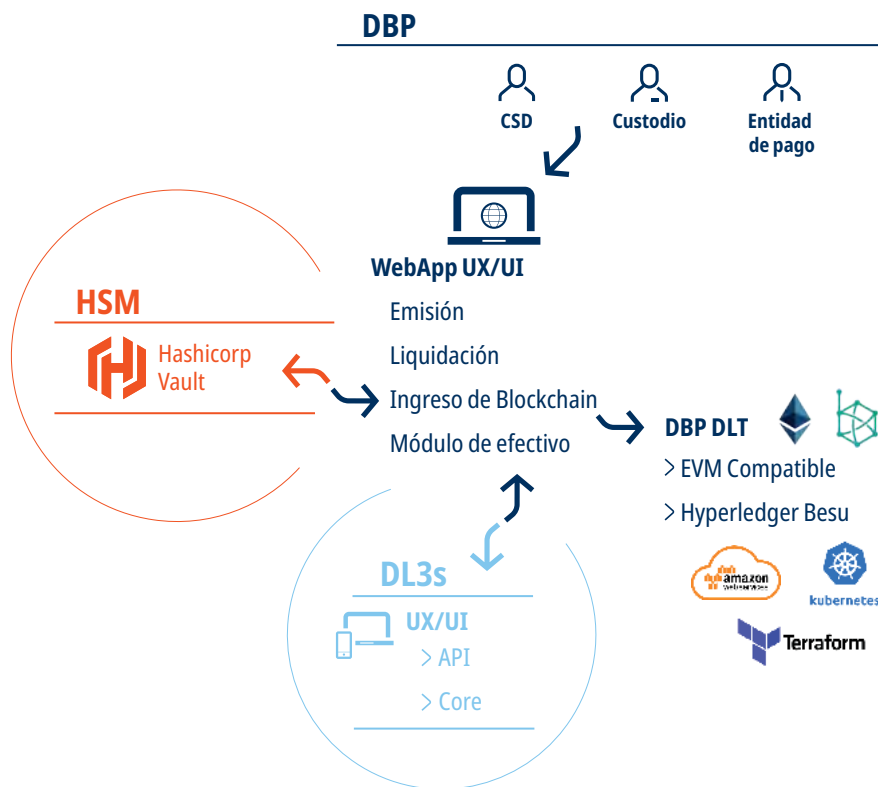
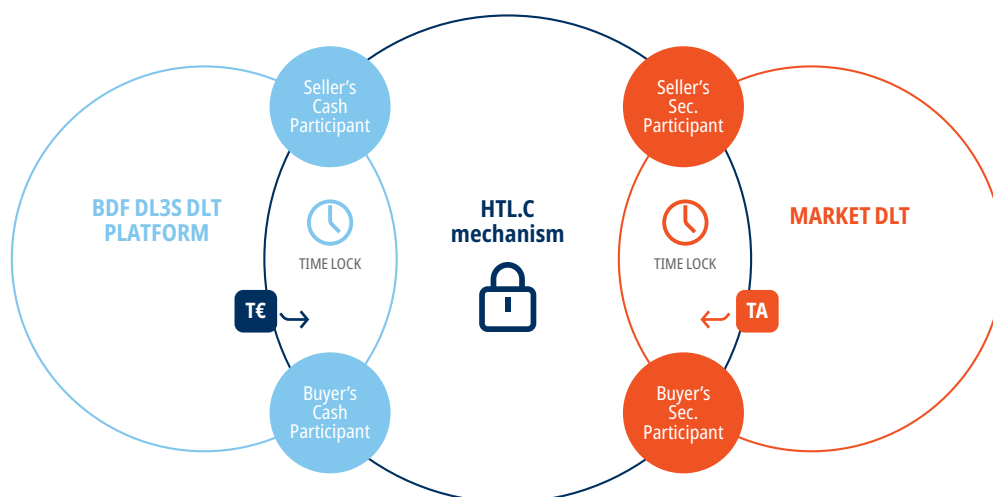


Figura 5. Modelo de Interoperabilidad full-DLT (Banco de Francia).

de tiempo entre redes, eliminando la necesidad de recurrir a una entidad intermediaria de confianza. En este esquema, las entidades involucradas en los movimientos de valores y efectivo digital (en forma de ECT) interactúan de manera sincronizada para garantizar la liquidación entrega contra pago (DvP) basada en el principio “todo o nada”. El proceso opera bajo las siguientes condiciones claves:

1. Los valores son entregados y el efectivo es transferido únicamente si ambas partes cumplen con las condiciones establecidas en el contrato bajo el tiempo asignado.
2. Si cualquier parte del intercambio falla, ya sea por falta de pago o por no entrega de los valores, la transacción completa no se liquida.
3. En caso de fallo por otras causas, se activa un procedimiento de contingencia preacordado para reducir riesgos.

Estos casos se llevaron a cabo en días consecutivos, siguiendo el orden lógico del ciclo de vida del bono. El objetivo inicial de la iniciativa presentada consistía en demostrar la viabilidad técnica de la emisión y gestión de un bono digital en un entorno distribuido, empleando un único ISIN para todas las operaciones. Este planteamiento buscaba simplificar la coordinación entre los custodios participantes de la iniciativa, permitiendo probar la interoperabilidad y la eficiencia en un contexto controlado. Sin embargo, considerando el alto volumen de transacciones que tendrían que ser gestionadas de manera simultánea, y uniendo además este volumen al del resto de las iniciativas que la propia red DL3S tendría que gestionar de manera paralela en la ola de experimentación, las recomendaciones de la dirección del programa de experimentación llevaron a modificar este enfoque, reduciendo dicho volumen simultáneo. Como resultado, se han emitido cinco ISIN diferentes, correspondientes a cinco bonos. Los custodios participantes se han agrupado para recibir los derechos y ejecutar las transacciones OTC. En los siguientes subapartados se desarrollarán los procesos de estos casos de uso y para ello se abstraerán los participantes.

5.3 Playbook

El playbook desarrollado en el experimento contempla la ejecución de los distintos casos de uso previamente identificados, que abarcan todo el ciclo de vida de un bono digital⁵. Su objetivo es garantizar que en cada etapa se preserve la integridad tanto del dinero digital como de los valores financieros: emisión y distribución del bono, liquidación OTC, pago de cupón y amortización final.

En este experimento, se han definido dos procesos principales para gestionar la interacción entre bonos y efectivo: *Delivery-versus-Payment* (DvP) y *Payment Free of Delivery* (PFoD). El DvP garantiza que la transferencia de valores digitales (bonos) y tokens de efectivo (ECT) se realice de manera simultánea, asegurando la integridad de ambas partes en la transacción. Para ello, se emplea el protocolo HTLC, que sincroniza los movimientos de efectivo y valores, eliminando los riesgos de contraparte y asegurando una liquidación bajo el principio de “todo o nada”.

5 La gestión de efectivo y el informe al BCE se incluyen en los cuatros casos de uso evaluados.

Figura 6. Etapas del ciclo de vida de un bono digital.

A	B	C	D
Emisión y distribución del bono	Liquidación OTC	Pago del cupón	Amortización final
Tokenización del bono	Instrucciones de liquidación bilaterales entre inversores de diferentes custodios	Ejecución de los pagos de cupones según los plazos descritos en los <i>Smart Contracts</i>	Liquidación simultánea de efectivo y valores desde ambas redes
Integridad de los valores en la distribución a las cuentas de los inversores	Comunicación e interoperabilidad entre redes		Eliminación adecuada de los valores del bono digital tras finalizar la amortización
Distribución simultánea de efectivo y valores a las cuentas de los inversores en cada red DLT			Informe sobre las tenencias de wallets y los activos de todos los roles involucrados
Informe sobre las tenencias de wallets y los activos de todos los roles involucrados			

Por otro lado, el PFoD permite realizar transferencias de efectivo sin la entrega simultánea de valores, como en el caso del pago de cupones. Además, contribuye a simplificar procesos operativos en determinados escenarios.

En este contexto, se ha identificado una particularidad operativa relevante: la participación de un custodio que no es miembro directo de TARGET. Como resultado, se ha explorado un nuevo modelo de liquidación en el que la transferencia de efectivo debe realizarse a través de

un custodio intermediario con acceso a la plataforma de efectivo. Esta división de responsabilidades permite ilustrar las dinámicas prácticas y los ajustes que podrían aplicarse en escenarios reales.

Por último, en cuanto a la calendarización, los cuatro casos de uso experimentados se han ejecutado de forma secuencial sobre los cinco bonos emitidos, siguiendo un orden cronológico a lo largo de aproximadamente tres meses.

Figura 7. Fases de los distintos casos de uso.

	Septiembre - 24				Octubre - 24				Noviembre - 24			
Fases	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Caso de uso 1												
<i>Emisión y distribución del bono</i>			●	●								
Caso de uso 2												
<i>Liquidación OTC</i>					●							
Caso de uso 3												
<i>Pago de cupón</i>							●	●				
Caso de uso 4												
<i>Amortización final</i>											●	●

5.3.1 Configuración de wallets en la experimentación

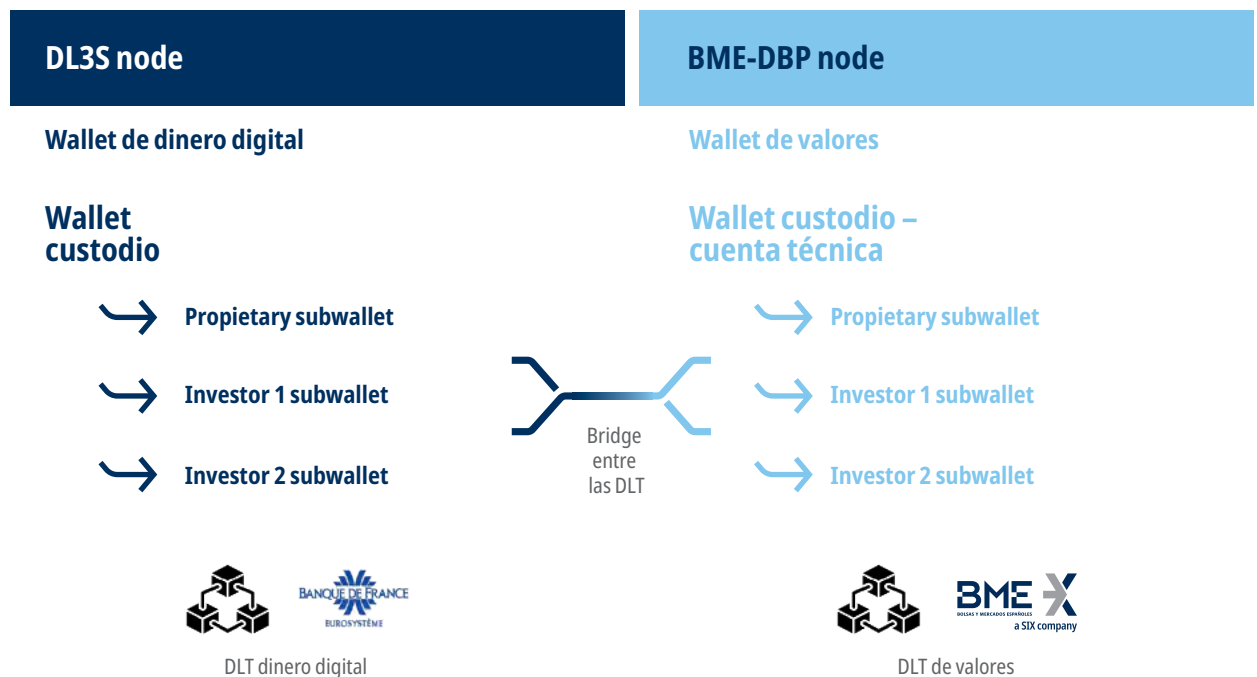
Antes de detallar los casos de uso que se realizaron en la experimentación y los movimientos e instrucciones ejecutadas, es importante reflejar primero la configuración de *wallets* que se realizó.

Debido a la configuración de las plataformas y con la idea de mantener un *wallet* por cada custodio para replicar la configuración de cuentas que se tienen actualmente en los sistemas de liquidación, la estructura en cada uno de los *wallets* de los custodios se diseñó de la siguiente manera:

Como se puede ver, por cada uno de los *wallets* de los custodios, se crearon 3 *sub-wallets* que representaban las tres cuentas de valores que se necesitaban para la experimentación (es decir, el *sub-wallet* que representa la cuenta propia del custodio, y un *sub-wallet* por cada uno de los inversores simulados). De esta manera, los *wallets* de los custodios son considerados *wallets* técnicos utilizados para pivotar transitoriamente los tokens en la plataforma, pero no representan en ningún caso las posiciones que ostenta el custodio.

De la misma manera, y con la intención de simplificar el modelo, se estructuraron los *wallets* de efectivo de cada uno de los custodios considerando un *sub-wallet* por cada uno de los roles que se representaron en los casos de uso (custodio e inversores), utilizando por lo tanto el *wallet* de efectivo de cada custodio para pivotar transitoriamente los tokens de efectivo entre los *wallets*.

Figura 8. Configuración de wallets. Fuente: Deloitte.



5.3.2 Emisión y distribución del bono

El proceso de la emisión y distribución del bono se realiza siguiendo el modelo de todo o nada de manera simultánea, englobando los siguientes pasos.

Previamente al día de la emisión, Iberpay, en representación de los custodios, solicita al Banco de Francia (BdF) la emisión de ECT para los participantes en la red DL3S. El banco central se encarga de asignar los tokens a los *sub-wallets* de efectivo correspondientes a los custodios e inversores que acudirán a la emisión. Iberpay valida que la emisión de ECT se haya realizado correctamente en cada *sub-wallet*.

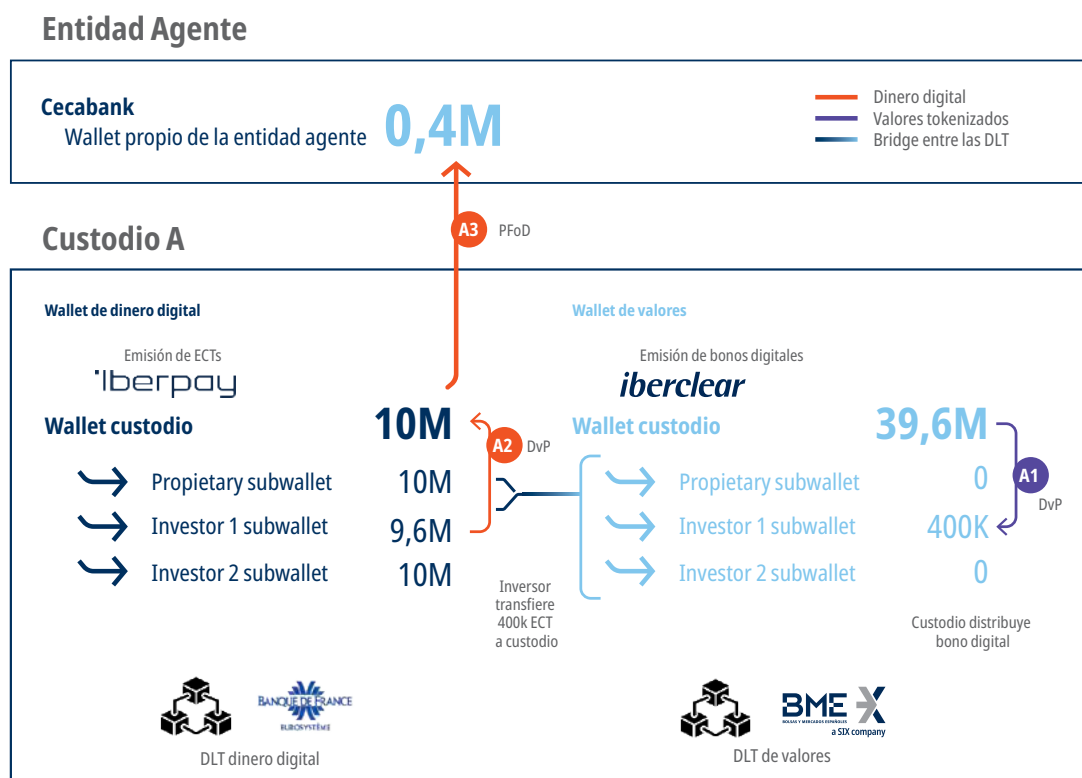
Por su parte, la Entidad Agente, encargada de gestionar la emisión inicial, coordina con BME la creación y asignación de los bonos en la plataforma BME-DBP. Antes del día de la emisión, mediante la interfaz gráfica de BME-DBP, la Entidad Agente realiza la preasignación de los bonos a los custodios y estos a su vez pre-asignan a sus clientes. El bono no puede emitirse si no se han realizado previamente estas preasignaciones.

El día de la distribución, para que los bonos digitales se transfieran a los inversores finales y el efectivo llegue a la entidad agente, tienen lugar varios pasos simultáneos:

- **A-1: Distribución de los bonos:** cuando se alcanza la fecha de emisión, los tokens del bono son transferidos a los *sub-wallet* de los inversores que ostenten posición.
- **A-2: Proceso DvP entre inversor y custodio:** los ECT son transferidos simultáneamente desde los *sub-wallets* de los inversores al *wallet* de la entidad agente, pasando como paso transitorio por el *wallet* técnico de cada uno de los custodios implicados en el proceso.
- **A-3: Transferencia de ECT a la entidad agente (PFoD):** la distribución del bono no podría completarse satisfactoriamente sin que se realice la transferencia de los ECT a la entidad agente mediante un proceso *Payment Free of Delivery* (PFoD) en la red DL3S, instruido desde la red DBP, tal y como se viene realizando en los procesos actuales de emisión.

Este proceso se repite sucesivamente en las diferentes emisiones e inversores involucrados.

Figura 9. Emisión y distribución del bono. Fuente: Deloitte.



5.3.3 Liquidación OTC

Los casos de uso de liquidación OTC (*Over-the-Counter*) en el experimento abarcan tres escenarios clave para analizar la transferencia de valores digitales y efectivo, y las posibles diferencias que pueda haber entre ellos. Así, los escenarios establecidos fueron:

1. Entre inversores de custodios distintos.
2. Entre dos custodios directamente.
3. Entre inversores de un mismo custodio.

Durante la ejecución de los tres escenarios, se comprobó que operativamente los casos 1 y 2 no tienen diferencias, gracias a la configuración de sub-wallets elegida.

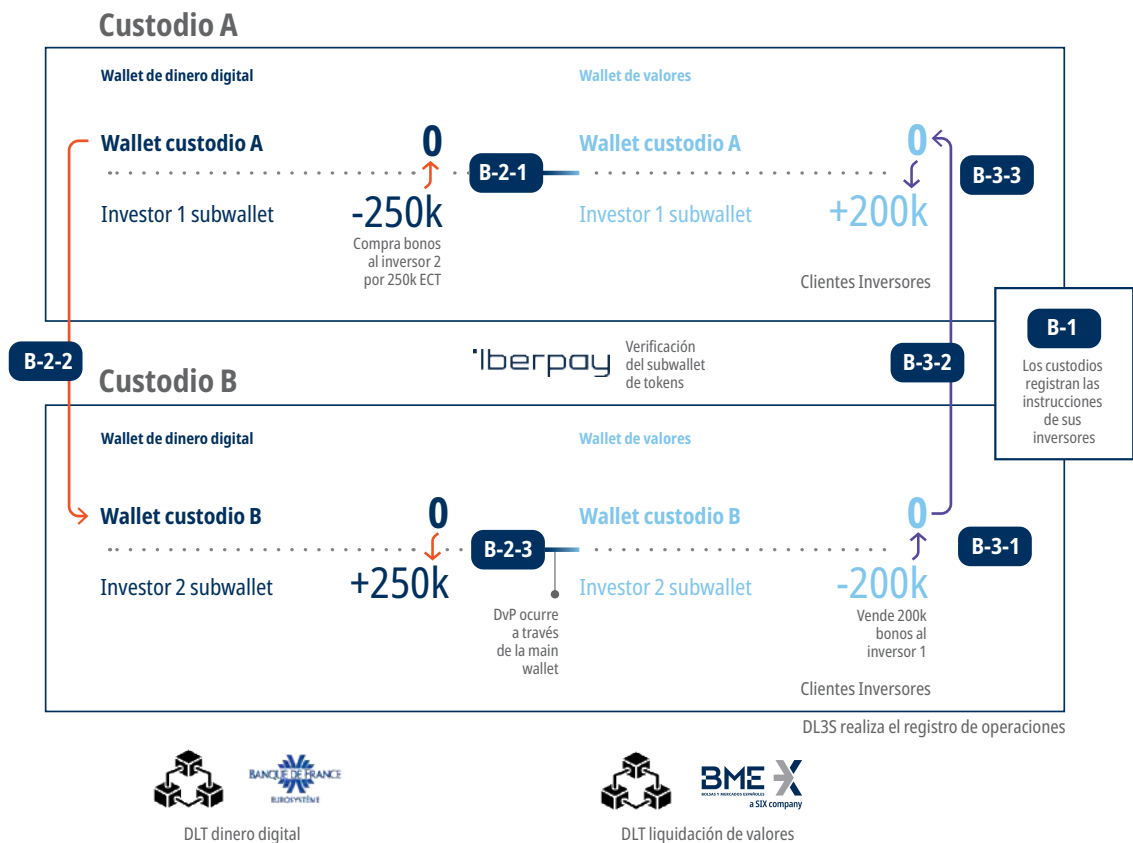
A continuación, se describen los flujos operativos de cada caso.

1. Proceso de liquidación OTC entre dos inversores representados por dos custodios

En las operaciones OTC, el proceso de liquidación de operaciones entre inversores con custodios distintos se lleva a cabo en varios pasos, que se ejecutan en modo todo en uno. A modo de ejemplo, se describe una operación concreta entre dos custodios: el custodio A, que actúa en nombre del inversor 1 (comprador), y el custodio B, que representa al inversor 2 (vendedor).

El proceso comienza con la introducción de las instrucciones de liquidación por parte de ambos custodios, A y B (**B-1**), en representación de sus respectivos inversores. Estas instrucciones especifican los detalles de la operación. Una de las ventajas que ofrece DLT es la posibilidad de liquidar en T+0, por lo que en este MVP no ha considerado necesario establecer una fecha teórica de liquidación (FTS) distinta.

Figura 10. Liquidación OTC entre dos inversores representados por dos custodios. Fuente: Deloitte.



El proceso sigue con una orden DvP, que coordina la liquidación entre custodios:

- **RECE settlement (Receive of Payment):** transferencia de efectivo (ECT) desde el custodio del inversor comprador (Custodio A) al custodio del inversor vendedor (Custodio B).
- **DELI settlement (Delivery of Payment):** simultáneamente, los valores (bonos tokenizados) se transfieren desde el custodio del inversor vendedor (Custodio B) al custodio del inversor comprador (Custodio A).

Para poder ejecutar, por lo tanto, la orden de liquidación, se realizan los siguientes movimientos simultáneos:

- En la red DL3S, los ECT son transferidos simultáneamente desde el *sub-wallet* del inversor comprador al *wallet* al *sub-wallet* del inversor vendedor, pasando como paso transitorio por los *wallets* técnicos de los custodios correspondientes (**B-2-i**).
- De manera simultánea, en la plataforma BME-DBP, se transfieren los tokens del bono desde el *sub-wallet* del inversor vendedor (Custodio B) al *sub-wallet* del inversor comprador (Custodio A), igualmente pasando transitoriamente por los *wallets* técnicos de los custodios correspondientes (**B-3-i**).

Ambas transferencias se realizan utilizando el mecanismo HTLC (*Hash Time-Locked Contract*).

2. Proceso de liquidación OTC entre dos custodios

En el mercado secundario, la liquidación entre custodios A y B, actuando a través de sus *sub-wallets*, sigue los mismos procesos fundamentales que el proceso anterior.

Primero ambos custodios introducen las instrucciones de liquidación, definiendo la transferencia de efectivo (ECT) y valores (bonos tokenizados) (**B-1**). En este caso, el custodio A (comprador) instruye la instrucción de recepción (RECE) y el custodio B (vendedor) introduce la instrucción de entrega (DELI).

Una vez casadas ambas operaciones, se ejecuta la liquidación DvP entre custodios, lo que implican los siguientes movimientos simultáneos:

- En la red DL3S, los ECT son transferidos simultáneamente desde el *sub-wallet* del custodio comprador al *wallet* al *sub-wallet* del custodio vendedor, pasando como paso transitorio por los *wallets* técnicos de los custodios correspondientes (**B-2-i**).
- De manera simultánea, en la plataforma BME-DBP, se transfieren los tokens del bono desde el *sub-wallet* del custodio vendedor (Custodio B) al *sub-wallet* del custodio comprador (Custodio A), igualmente pasando transitoriamente por los *wallets* técnicos de los custodios correspondientes (**B-3-i**).

Igual que en el escenario anterior, ambas transferencias se realizan utilizando el mecanismo HTLC (*Hash Time-Locked Contract*).



3. Proceso de liquidación OTC entre dos inversores del mismo custodio

En este escenario, se observa que el proceso difiere ligeramente de los dos escenarios anteriores, puesto que sólo está involucrado un *wallet* en cada una de las redes, ya que los movimientos son entre los *sub-wallets* inversores del mismo custodio. Sin embargo, la lógica del proceso es muy parecida.

De la misma manera que en los casos anteriores, el custodio registra las instrucciones de liquidación, estableciendo la transferencia de efectivo (ECT) y valores (bonos tokenizados) **(C-1)**. En este caso, el custodio (comprador) instruye la instrucción de compra para el inversor 1 (RECE) y la instrucción de venta para el inversor 2 (DELI).

Como en los escenarios anteriores, a continuación, se ejecuta la liquidación DvP entre inversores, pero en este escenario se producen los siguientes movimientos simultáneos:

- En la red DL3S, los ECT son transferidos simultáneamente desde el *sub-wallet* del inversor 2 comprador al *sub-wallet* del inversor 2 vendedor, pasando como paso transitorio por el *wallet* técnico del custodio involucrado (**C-2-i**).
- De manera simultánea, en la plataforma BME-DBP, se transfieren los tokens del bono desde el *sub-wallet* del inversor 2 vendedor al *sub-wallet* del inversor 1 comprador, igualmente pasando transitoriamente por el *wallet* técnico del custodio involucrado (**C-3-i**).

Igual que en los escenarios anteriores, ambas transferencias se realizan utilizando el mecanismo HTLC (*Hash Time-Locked Contract*).

5.3.4 Pago de cupón

En el escenario de un pago de cupón, no existe movimiento de valores, por lo que no hay transferencias de token de bono en los *wallets* de la plataforma DBP.

Sin embargo, para que el pago de cupón pueda realizarse, los movimientos de efectivo correspondientes a los pagos que tienen que recibir los custodios e inversores que ostentan posición del día de *record date* se ordenan, como en el mundo real, desde la plataforma de liquidación de valores, en este caso, DBP.

Por lo tanto, en este caso de uso se siguen los siguientes pasos:

La plataforma BME-DBP verifica y comunica a la entidad agente las posiciones totales de bonos para cada participante en fecha *record date*. La entidad agente confirma la recepción de esta información (**D-1**).

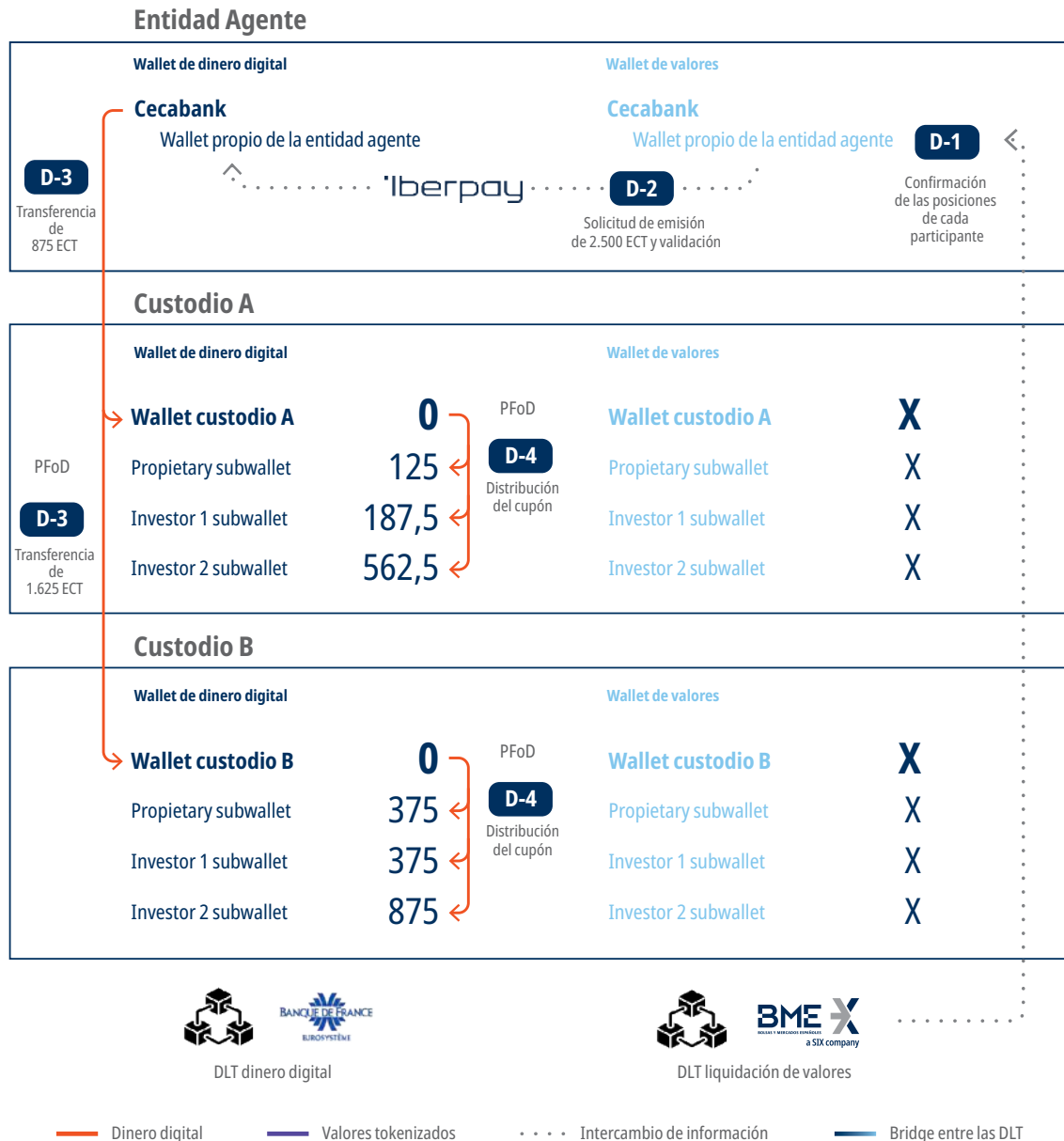
La entidad agente solicita a Iberpay la cantidad necesaria de ECT para realizar el pago del cupón **(D-2)**. Iberpay coordina con el banco central el minto de los ECT, y la red DL3S asigna los tokens a las *wallets* correspondientes **(D-3)**. Posteriormente, tanto Iberpay, actuando en nombre de los custodios como la entidad agente validan que los ECT estén disponibles en sus respectivas *sub-wallets*.

En el día del pago del cupón (*payment date*), en DL3S se transfieren los ECT correspondientes desde el *sub-wallet* de la entidad agente hacia los *sub-wallets* de los custodios e inversores que ostentan posición, pasando de manera transitoria por los *wallets* correspondientes (**D-4**).

Figura 11. Proceso de liquidación OTC entre dos inversores del mismo custodio. Fuente: Deloitte.



Figura 12. Pago de cupón. Fuente: Deloitte.



5.3.5 Amortización del bono (Pago del cupón + amortización final)

La amortización final incluye dos pasos secuenciales ejecutados en modo todo en uno:

- Un primer pago de cupón que implicará movimientos de sólo efectivo (PFoD) y la propia amortización final, que incluirá operaciones DvP, puesto que se tendrá que abonar el cupón final correspondiente y, además, habrá que

amortizar el bono, lo que implicará el movimiento hacia la entidad agente para inmediatamente a continuación realizar el quemado de los tokens del bono (*burn-out*).

Por esto mismo, podemos dividir este caso de uso en tres bloques:

- El primer pago de cupón que implicará movimientos de sólo efectivo (PFoD) y, como en el escenario anteriormente detallado, se realizan en la red DL3S desde el *sub-wallet* de la entidad agente hasta los *sub-wallets*

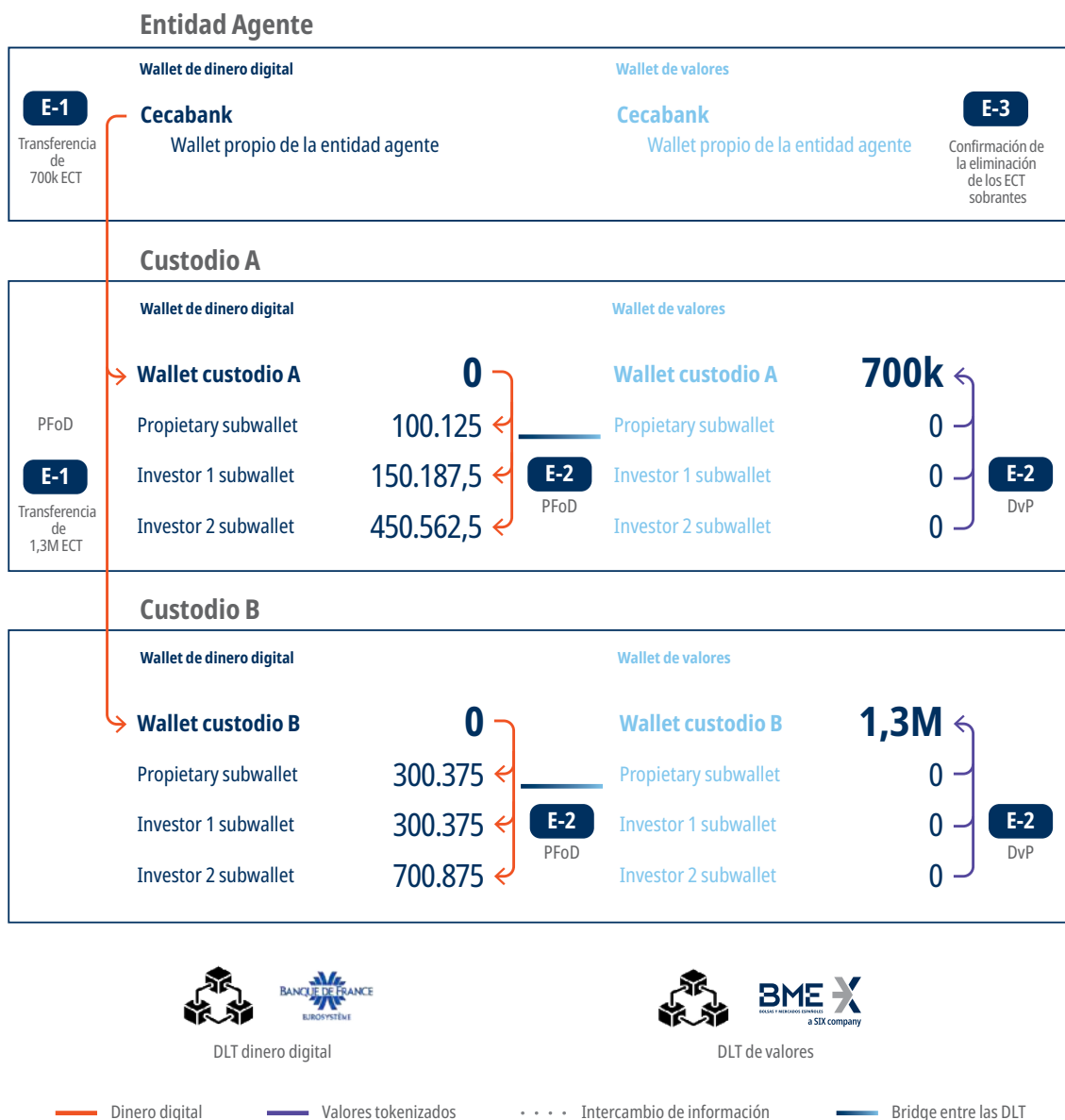
de los custodios e inversores que ostentan posición, pasando transitoriamente por los *sub-wallet* técnicos correspondientes (**E-1**).

- A continuación, se ejecuta la amortización, lo que implicará la ejecución de entregas contra pago (DvP). En este caso, en la red DBP se realizarán los movimientos desde los *sub-wallets* de los custodios e inversores que tienen posición hacia el *sub-wallet* de la entidad agente, pasando

siempre por los *wallet* técnicos correspondientes y, simultáneamente, los movimientos de efectivo en la red DL3S donde se transfieren los ECT correspondientes desde el *sub-wallet* de la entidad agente hacia los *sub-wallet* de los custodios e inversores que ostentan posición, pasando igualmente por los *wallet* técnicos implicados (**E-2**).

- Por último, se realiza el quemado de los tokens del bono, en el *sub-wallet* de la entidad agente (**E-3**).

Figura 13. Amortización del bono. Fuente: Deloitte.



6 Resultados de la experimentación

En esta sección se presentan los resultados clave sobre la eficiencia operativa del sistema, evaluados a partir del volumen de transacciones y el análisis de la latencia de la experimentación realizada por la comunidad española.

En este punto es importante destacar que sólo se muestran datos de volumetría y métricas asociadas a la plataforma BME-DBP, puesto que los datos cuantitativos de la plataforma DL3S fueron proporcionados de manera exclusiva por el banco central propietario de la Plataforma al Eurosistema.

Volumen de transacciones y efectivo manejado

En las siguientes tablas se muestran los datos de las operaciones ejecutadas y la cantidad de efectivo movilizado, diferenciando por caso de uso: emisión, liquidación, pago de cupones y amortización del bono.

Figura 14. Fuente: BME.

Número total de operaciones	210
Emisión	40
Liquidación OTC	58
Pago de cupón	32
Amortización y pago de cupón	80

Figura 15. Fuente: BME.

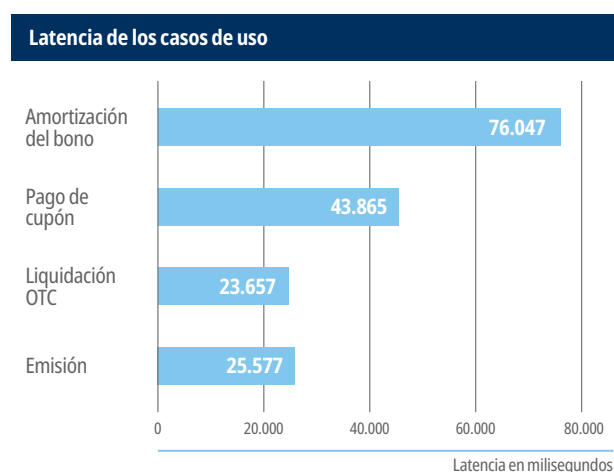
Efectivo total de las operaciones	29.578.700
Efectivo emisión	19.000.000
Efectivo OTC	4.250.000
Efectivo cupón	12.500
Efectivo cupón y amortización	6.316.200

Latencia

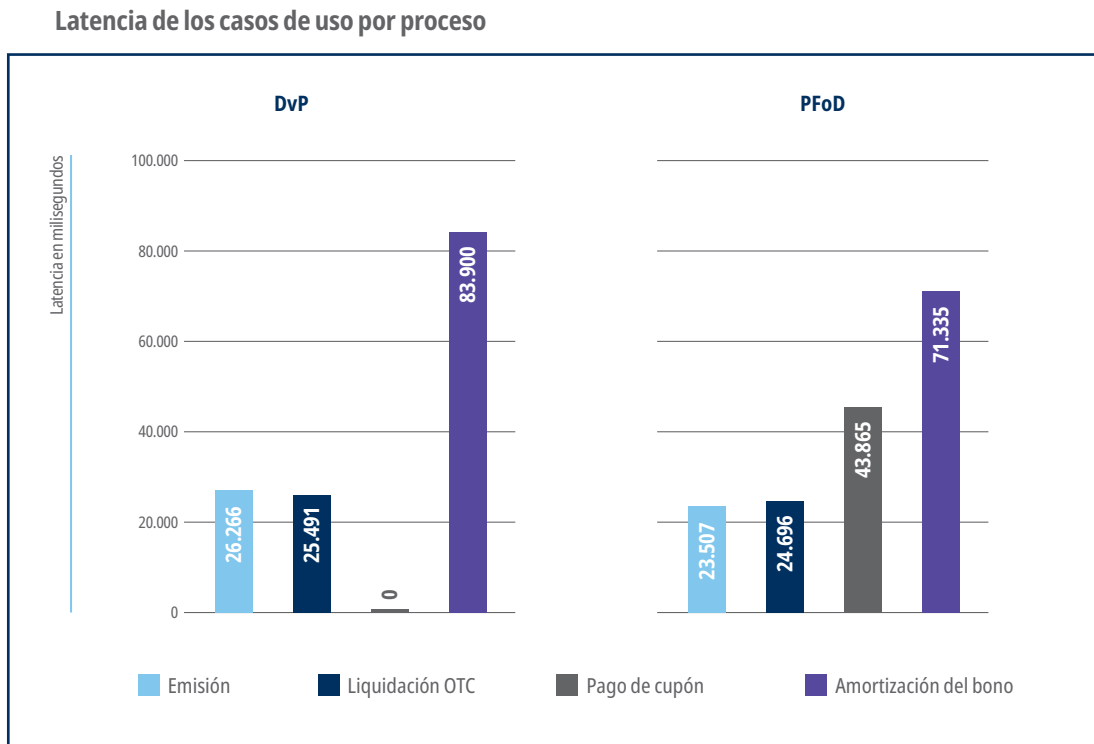
Las siguientes gráficas presentan el análisis de la latencia de las transacciones, es decir, el tiempo total transcurrido desde el inicio hasta la finalización de una operación (*end-to-end*). Este indicador resulta clave para evaluar la rapidez y efectividad del mecanismo de liquidación, así como su aproximación en un entorno financiero digitalizado.

La primera figura presenta la latencia promedio por caso de uso, considerando las cinco emisiones ejecutadas en la experimentación de la comunidad española, lo que permite ofrecer una visión general de la variabilidad entre los distintos escenarios. Se observa que las transacciones de amortización de bonos registran una latencia superior en comparación con otros tipos de operación, debido a la mayor complejidad del proceso (primero se ejecuta un pago de cupón y posteriormente la amortización del bono) y al número de pasos adicionales requeridos para su ejecución.

Figura 16. Fuente: BME y Deloitte.



Para un análisis más detallado, se han desglosado los resultados de latencia por tipo de operación dentro de cada caso de uso. Para ello, se ha calculado la latencia promedio considerando todos los valores emitidos, diferenciando entre las transacciones de *Delivery versus Payment* (DvP) y *Payment Free of Delivery* (PFoD). Esto permite obtener un valor representativo único para cada tipo de operación y caso de uso, facilitando una evaluación más precisa del desempeño operativo.

Figura 17. Fuente: BME y Deloitte.

Si bien los indicadores analizados proporcionan una visión representativa del desempeño de la interoperabilidad de las redes, la experimentación se ha desarrollado con un alcance específico que condiciona la evaluación de la latencia en comparación con entornos de producción consolidados. La latencia observada responde tanto a la configuración de los casos de uso como a la configuración de la interoperabilidad de las redes, las cuales se encuentran adaptadas a un entorno de pruebas. Por este motivo, su comparación directa con infraestructuras como TARGET debe interpretarse en su debido contexto.

Asimismo, dentro del marco de colaboración del Eurosistema, los bancos centrales están realizando la recopilación de datos de las diferentes iniciativas que han participado en el programa de experimentación, con el objetivo de publicar hallazgos y recomendaciones de desarrollo que permitan establecer referencias más precisas en futuras fases. Adicionalmente, el Eurosistema continuará proporcionando información adicional para facilitar la evaluación de la wCBDC en escenarios de mayor escala y su integración con las infraestructuras existentes.

7 Conclusiones de la experimentación

El experimento ha puesto de manifiesto el interés del mercado español en el desarrollo de soluciones basadas en tecnología DLT. Este interés refuerza la necesidad de establecer un mecanismo de dinero mayorista del banco central que permita materializar las ventajas de esta tecnología, garantizando su integración en la infraestructura financiera existente. Los resultados del experimento han evidenciado que la infraestructura del mercado y sus participantes disponen de la capacidad técnica para desarrollar soluciones interoperables con el Eurosistema. Esta interoperabilidad permitiría optimizar la liquidación de valores y efectivo en entornos descentralizados, promoviendo una mayor eficiencia operativa y reduciendo los riesgos asociados a la fragmentación del mercado. Esta capacidad resulta especialmente relevante en el marco de las iniciativas regulatorias europeas, donde la interoperabilidad entre plataformas emergentes y sistemas de pago tradicionales, como TARGET constituye un aspecto clave en la evolución del ecosistema financiero.

Asimismo, el experimento ha permitido validar el ciclo de vida completo de un bono tokenizado, desde la emisión

hasta su amortización, verificando la efectividad de los mecanismos de liquidación *Delivery versus Payment* (DvP) y *Payment Free of Delivery* (PFoD) en un entorno descentralizado. Un hallazgo significativo es la posibilidad de que entidades no participantes de T2S accedan a plataformas de negociación y liquidación en DLT. Esto sugiere una posible ampliación del alcance de estos sistemas, permitiendo una mayor inclusión de actores en el ecosistema financiero y fomentando la colaboración entre distintos participantes del mercado.

No obstante, el desarrollo de las wCBDC plantea desafíos que requieren mayor exploración, especialmente en lo que respecta a la liquidación instantánea y su impacto en la seguridad jurídica, así como a la gestión eficiente de la liquidez en un entorno operativo ininterrumpido (24/7). Estos retos, junto con la necesidad de avanzar en la convergencia tecnológica entre infraestructuras tradicionales y redes descentralizadas, configuran el siguiente paso en la evolución de estos modelos.

En esta línea, el Eurosistema recientemente ha publicado su intención de ampliar esta iniciativa para liquidar operaciones en plataformas basadas en tecnología de registros distribuidos (DLT) en dinero de banco central, reforzando así su apuesta por infraestructuras de mercado innovadoras (Banco Central Europeo, 2025). Este esfuerzo se materializa a través de una doble línea de acción: en el corto plazo, se implementará una solución interoperable con los servicios TARGET, asegurando la compatibilidad con las infraestructuras existentes; mientras que, en el largo plazo, se explorará un modelo integrado que permita la liquidación de operaciones basadas en DLT, incluyendo la liquidación de divisas a escala internacional.

Esta iniciativa responde al compromiso del BCE de impulsar la eficiencia y la seguridad en los mercados financieros europeos sin comprometer la estabilidad del sistema. Además, se enmarca en los esfuerzos del Eurosistema por analizar nuevas tecnologías y fomentar la colaboración con actores del sector público y privado, garantizando un ecosistema financiero más armonizado e integrado (Banco Central Europeo, 2025). Estos avances reflejan la solidez del trabajo realizado hasta la fecha y ponen de manifiesto la necesidad de seguir evolucionando en la integración de la wCBDC. A partir de estos resultados, se identificarán los siguientes pasos clave para su desarrollo y adopción.



8 Próximos pasos

Los resultados obtenidos en la fase de experimentación han confirmado la viabilidad de la wCBDC y su potencial para transformar la infraestructura del mercado financiero. Sin embargo, su implementación a gran escala requerirá abordar desafíos técnicos, operativos y jurídicos que garanticen su integración eficiente con los sistemas actuales y maximicen los beneficios de la tecnología DLT.

En este sentido, es fundamental reforzar la colaboración entre entidades públicas y privadas, consolidando el diálogo con los actores del mercado a través de programas de experimentación que permitan identificar necesidades y oportunidades. La participación de las infraestructuras financieras y entidades privadas resultará clave para fomentar la adopción de estas soluciones, apoyándose en la confianza que los clientes depositan en ellas como intermediarios naturales en la gestión de sus activos.

La transición hacia un entorno productivo exigirá mejoras en la arquitectura tecnológica, centrándose en la optimización de la distribución de los *Exploratory Cash Tokens* (ECT), la automatización de procesos y la programabilidad de la plataforma. Además, será fundamental garantizar la escalabilidad del sistema para gestionar volúmenes crecientes de transacciones sin comprometer la eficiencia ni la seguridad operativa. Otro aspecto clave será asegurar una disponibilidad operativa continua (24/7) que permita a los participantes acceder de manera ininterrumpida a las infraestructuras de liquidación, reduciendo dependencias de los sistemas tradicionales. Para ello, será necesario evaluar la viabilidad de estos nuevos modelos desde un punto de vista regulatorio y garantizar un marco normativo que brinde seguridad jurídica a todas las partes involucradas.

En el corto y largo plazo, el desarrollo de la wCBDC deberá avanzar en paralelo con los esfuerzos del Banco Central Europeo, asegurando que las soluciones propuestas atiendan las necesidades del mercado y acompañen la evolución del ecosistema financiero europeo. La integración progresiva de estos mecanismos permitirá consolidar un entorno interoperable y eficiente, facilitando la adopción de nuevas tecnologías sin comprometer la estabilidad y el funcionamiento de los mercados tradicionales.



Anexo 1. Tipos de activos digitales para las liquidaciones

Tabla Anexo I. Fuente y elaboración Deloitte.

Tipología de activos	A Depósitos Tokenizados (DT)	B E-money Tokens (EMT)	C Wholesale Central Bank Digital Currency (wCBDC)
Emisor	- Entidades de crédito.	- Entidades de crédito de la UE. - Instituciones de dinero electrónico autorizadas según la Directiva de dinero electrónico (EMI).	- Bancos Centrales.
Activos de colateralización	- Garantizados por los depósitos tradicionales.	- Garantizados por FIAT 1:1	- N/A
Regulación	- Supervisados por el Banco de España, que se ocupa de que las entidades bancarias cumplan con requisitos como: diversificación de riesgos, establecimiento de reservas suficientes, etc.	- Regulation of MiCA in Title IV (electronic money tokens). - The CNMV is the entity designated to supervise the issuance and offering of these assets in Spain.	- Regulaciones existentes aplicables.
Casos de uso Wholesale			
<i>Payment-versus-Payment</i>	✓	✓	✓
<i>Delivery-versus-Payment</i>	Dependiente	✓	✓
Consideraciones principales			
<i>Consideraciones técnicas</i>	- Parte de la necesidad de soluciones de consorcio o interoperables. - Es necesario desarrollar la infraestructura técnica para tokenizar el efectivo.	- Parte de la necesidad de soluciones de consorcio o interoperables. - Es necesario desarrollar la infraestructura técnica para tokenizar el efectivo.	- Es necesario esperar a que el BCE desarrolle la infraestructura técnica.
<i>Otras consideraciones</i>	- Garantizados por el fondo de garantía de depósitos.	- MiCA restringe el pago de intereses para los e-money token y asset referenced tokens. - Parte de la necesidad de soluciones de consorcio o interoperables.	- El programa de experimentación de infraestructuras de mercado desarrollado en 2024 se centró en DvP, con una exploración paralela de PVP.
Ejemplos seleccionados	Singapore's Project Ubin Bancos como DBS tokenizan sus depósitos en un libro mayor distribuido para permitir la liquidación en tiempo real.	JP Morgan Coin Un token digital emitido por un banco que representa dinero de un banco comercial, utilizado para la liquidación instantánea entre clientes institucionales.	Hong Kong's mBridge Project Una plataforma multi-CBDC que permite liquidaciones transfronterizas en tiempo real entre los bancos centrales de Hong Kong, Tailandia, Emiratos Árabes Unidos y China.

Anexo 2. Iniciativas globales en torno a las wCBDC

Helvetia: Liderado por el Banco Nacional de Suiza, en colaboración con BIS Innovation Hub y SIX Digital Exchange, el proyecto Helvetia se centra en la integración de una wCBDC con plataformas de liquidación de valores tokenizados. Su objetivo es evaluar cómo una moneda digital puede respaldar la liquidación eficiente de activos tokenizados en un entorno de mercado financiero moderno.

Agorá: Liderado por el BIS en colaboración con siete bancos centrales (Banco de Francia, Banco de Japón, Banco de Corea, Banco de México, Banco Nacional Suizo, Banco de Inglaterra y la Reserva Federal de Nueva York), el proyecto Agorá busca integrar dinero mayorista y depósitos tokenizados en una plataforma público-privada. Más allá de ser una PoC, pretende desarrollar un prototipo que permita probar casos de uso actuales y futuros, con el potencial de sentar las bases para una nueva infraestructura financiera diseñada para pagos transfronterizos.

Jasper-Ubin: El proyecto Jasper-Ubin es una colaboración entre el Banco de Canadá y la Autoridad Monetaria de Singapur (MAS) que explora el uso de una wCBDC para pagos transfronterizos. Este piloto destaca por su enfoque en la interoperabilidad entre plataformas blockchain distintas, utilizando DLT para facilitar transacciones más rápidas y seguras entre jurisdicciones con diferentes sistemas financieros.

Khokha: Liderado por el Banco de la Reserva de Sudáfrica, el proyecto Khokha evalúa la viabilidad de una wCBDC para pagos mayoristas en un entorno nacional. Su principal objetivo es aumentar la eficiencia y reducir los costes en las infraestructuras de liquidación interbancaria, al tiempo que garantiza altos estándares de seguridad y resiliencia.

Aber: Este proyecto es una iniciativa conjunta entre el Banco Central de Arabia Saudita (SAMA) y el Banco Central de los Emiratos Árabes Unidos. Aber se centra en la emisión de una wCBDC para facilitar pagos transfronterizos y mejorar la eficiencia en la gestión de liquidez, probando la viabilidad de una solución compartida entre dos países con monedas distintas.

DREX: DREX es una iniciativa del Banco Central de Brasil que busca explorar la emisión de una wCBDC para pagos nacionales. Este proyecto prioriza la digitalización del sistema financiero brasileño y la mejora en la interoperabilidad entre instituciones financieras.

Dunbar: El proyecto Dunbar, liderado por el BIS Innovation Hub junto con varios bancos centrales (Malasia, Sudáfrica, Singapur y Australia), investiga la viabilidad de una plataforma compartida para transacciones transfronterizas que operen con múltiples wCBDC.

mBridge: El proyecto mBridge es una colaboración entre los bancos centrales de Tailandia, Hong Kong, Emiratos Árabes Unidos y China. Este piloto se enfoca en pagos transfronterizos multimoneda, probando el uso de una plataforma DLT para aumentar la eficiencia y reducir los tiempos de liquidación en transacciones internacionales.

Lithium: Lithium es una iniciativa liderada por la DTCC en los Estados Unidos, que evalúa cómo una wCBDC puede mejorar los procesos de liquidación y compensación en los sistemas financieros tradicionales.

Tabla Anexo II. Fuente y elaboración Deloitte.

Proyecto / Iniciativa	Entidades Involucradas	Tipo de Proyecto	Alcance diseñado	Año de Inicio	Estado
 Jasper-Ubin	  Monetary Authority of Singapore			2018	
 Khokha	 South African Reserve Bank			2018	
 Aber	 Saudi Central Bank  مصرف الإمارات العربية المتحدة المركزي CENTRAL BANK OF THE U.A.E.			2019	
 Helvetia	SCHWEIZERISCHE NATIONALBANK BANQUE NATIONALE SUISSE BANCA NAZIONALE SVIZZERA BANCA NAZIONALE SVIZZERA SWISS NATIONAL BANK 			2020	
 DREX	 BANCO CENTRAL DO BRASIL			2021	
 Dunbar	 RESERVE BANK OF AUSTRALIA  BANK NEGARA MALAYSIA  South African Reserve Bank  Monetary Authority of Singapore			2021	
 mBridge	 中国人民银行 THE PEOPLE'S BANK OF CHINA  Hong Kong Monetary Authority  ธนาคารแห่งประเทศไทย BANK OF THAILAND  مصرف الإمارات العربية المتحدة المركزي CENTRAL BANK OF THE U.A.E.			2021	
 Lithium	DTCC			2022	
 Agora	 BANQUE DE FRANCE  Bank of Japan  한국은행 BANK OF KOREA  Bank of England  BANCO DE MÉXICO  SCHWEIZERISCHE NATIONALBANK BANQUE NATIONALE SUISSE BANCA NAZIONALE SVIZZERA BANCA NAZIONALE SVIZZERA SWISS NATIONAL BANK			2024	
 Eurosystem exploratory programme for wCBM	 BANCO CENTRAL EUROPEO			2024	



Proyecto de Prueba de concepto: Proyectos en una etapa avanzada de investigación que han publicado una prueba de concepto.



Proyecto Piloto: Proyectos avanzados en el desarrollo que están siendo probados en un entorno real para evaluar su viabilidad.



Transfronterizo



Doméstico



Completado



En curso

Anexo 3. Diferentes alternativas dentro del Eurosistema

Full-DLT Interoperability Solution

En esta solución desarrollada por el **Banco de Francia** el **dinero de banco central se emite en forma de tokens que se gestionan en una plataforma DLT (DL3S)**. Esta plataforma está **interconectada con diferentes DLT de mercado**, desde la cual las transacciones con instrumentos financieros tokenizados generan pagos en dinero del banco central. De manera resumida, el CeBM se emitiría en forma de efectivo tokenizado y se liquidaría en una plataforma DLT del Eurosistema conectada a las DLT del mercado:

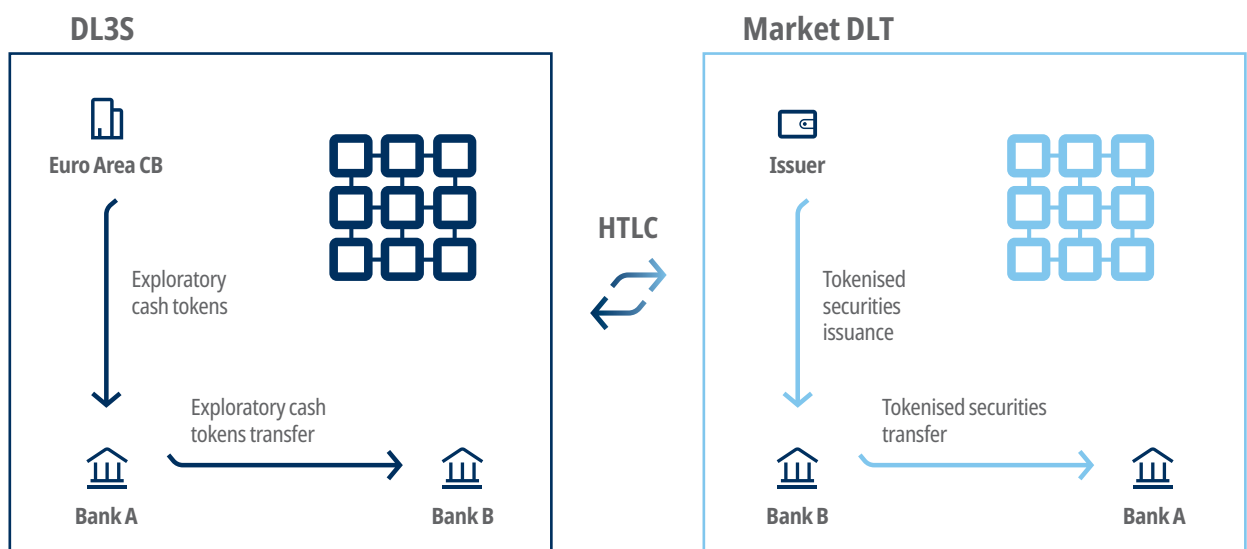
- **Asset leg:** un *smart contract* en una DLT de mercado bloquea el activo/pago y envía la transacción de pago a la DLT DL3S (plataforma DLT del Eurosistema para la liquidación de CeBM) a través de un mecanismo de interoperabilidad.
- **Cash leg:** la liquidación del cash leg ocurre en la DLT DL3S.
- **DvP/PvP:** el mecanismo de interoperabilidad es responsable de finalizar la entrega del *cash leg* (en forma de efectivo tokenizado) en la DLT DL3S, lo que libera el activo/pago en la DLT del mercado.

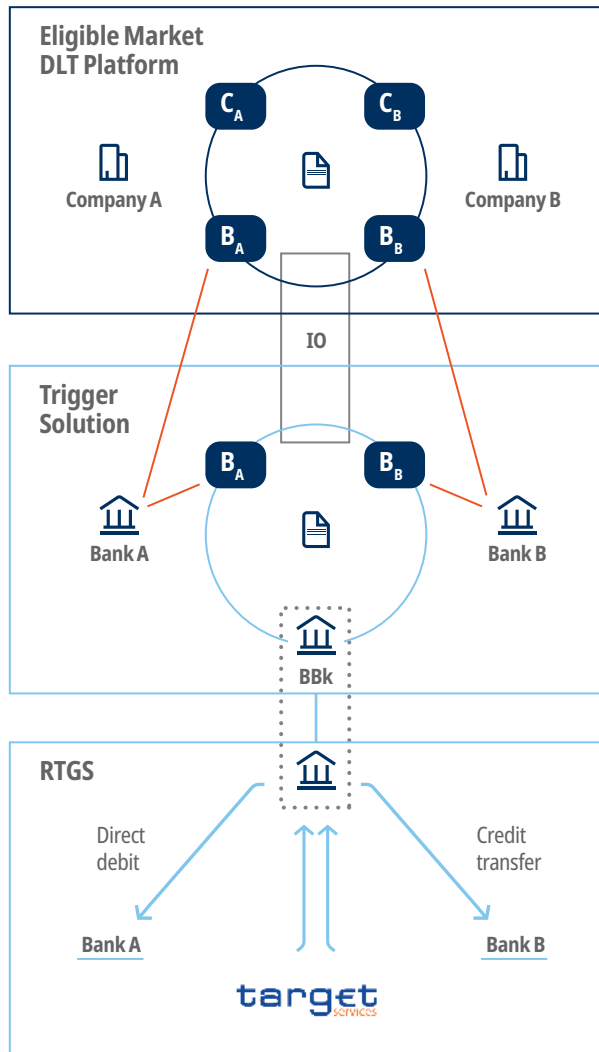
Trigger Solution

La solución proporcionada por el **Bundesbank** permite la **liquidación** de transacciones financieras mayoristas basadas en DLT **utilizando dinero de banco central a través del actual RTGS de T2**. La infraestructura, denominada **Trigger Chain**, actúa como un **“puente técnico” entre el componente RTGS de T2 y las plataformas DLT del mercado** (Asset Chains).

En cuanto a la solución diseñada, ya se habían realizado experiencias relacionadas. En 2021, el Deutsche Bundesbank, junto con Deutsche Börse Group y la Agencia de Finanzas de Alemania, desarrollaron y probaron con éxito la *Trigger solution*. Se creó un *bridge* entre la plataforma DLT operada por Deutsche Börse y el sistema de pagos convencional TARGET2 del Eurosistema a través de la plataforma DLT operada por Bundesbank (*Trigger Chain*) para liquidar transacciones de valores basadas en DLT en dinero de banco central, sin necesidad de crear dinero de banco central tokenizado (Deutsche Bundesbank, 2021).

Anexo V. Fuente: Documentación del Eurosistema.



Anexo III. Fuente: Documentación del Eurosistema.

La solución se puede categorizar y resumir en los siguientes tres aspectos (Banco Central Europeo, 2023):

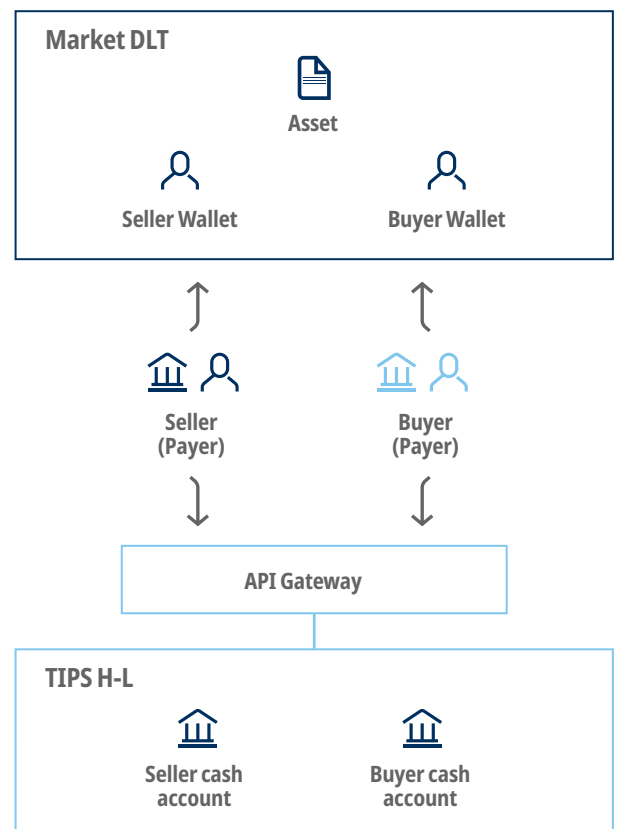
- **Asset leg:** un *smart contract* en la DLT de mercado bloquea el activo/pago y desencadena la transacción de pago mediante la *Trigger Chain* (DLT del Bundesbank) usando un mecanismo de interoperabilidad.
- **Cash leg:** la liquidación del pago ocurre en TARGET.
- **DvP/PvP:** la confirmación de la liquidación en TARGET se reenvía a la DLT de mercado para ejecutar la entrega o *delivery* del activo/pago.

TIPS Hash-Link Solution

El modelo TIPS Hash-Link proporcionada por **Banca d'Italia** ofrece **interoperabilidad entre una plataforma DLT de mercado y un sistema de pagos** (por ejemplo, TARGET) basado en el enfoque de diseño **API Gateway**. Inspirado en el protocolo *Hash-Time Locked Contracts* (HTLC), TIPS Hash-Link se ha adaptado para superar algunos escenarios de fallos comunes de los HTLC, utilizando TIPS como un depósito de confianza para los fondos y un *smart contract* para coordinar las operaciones DvP en la DLT de manera segura.

En cuanto a sus principales aspectos destacados:

- **Asset leg:** un *smart contract* en una DLT de mercado bloquea el activo/pago y reenvía la transacción de pago a través de una API y un mecanismo de interoperabilidad (*hash link*).
- **Cash leg:** la liquidación del pago se realiza a través de una plataforma similar a TIPS.
- **DvP/PvP:** la confirmación del pago en CeBM en TARGET resulta en la entrega del activo/pago en la DLT del mercado.
 - TIPS Hash-Link solution provided by Banca d'Italia.

Anexo IV. Fuente: Documentación del Eurosistema.

Bibliografía

Banco Central Europeo. (2023). Evolution of T2S traffic in 2023. Obtenido de <https://www.ecb.europa.eu/press/payments-news/ecb.t2sar2023.es.html>

Banco Central Europeo. (Junio de 2023). Introduction to the NTW-CG. Obtenido de https://www.ecb.europa.eu/paym/groups/ntwgc/pdf/ecb.ntwdocs230621_presentations_1st_ntwgc_meeting.en.pdf?ad23790ed6c7b52edb21e9976f05e0d6

Banco Central Europeo. (Octubre de 2023). Learning objectives of the Eurosystem exploratory work. Obtenido de https://www.ecb.europa.eu/paym/groups/ntwgc/pdf/ecb.ntwdocs231020_presentations_4th_ntwgc_meeting.en.pdf?38494a9a09b8209b01873c06e9587580

Banco de España. (13 de Junio de 2022). AMI-SeCo España. Obtenido de https://www.bde.es/f/webbe/INF/MenuVertical/SistemasDePago/ami/XIV/Resumen_AMI_SeCo_ES_13_jun_2023.pdf

Bank for International Settlements. (2012). Principles for financial market infrastructures. Obtenido de <https://www.iosco.org/library/pubdocs/pdf/ioscopd377-pfmi.pdf>

Banco de Francia. (15 de Octubre de 2019). Working Paper Series no. 732: Central Bank Digital Currency: One, Two or None? Obtenido de <https://publications.banque-france.fr/en/central-bank-digital-currency-one-two-or-none>

Banco de Francia. (2021). Obtenido de https://www.banque-france.fr/system/files/2023-08/Banque_de_France_stabilite_financiere_rapport_mnbc_0_0.pdf

Banco de Francia. (Julio de 2023). Wholesale Central Bank Digital Currency Experiments with the Banque de France. Obtenido de https://www.banque-france.fr/index.php/system/files/2023-08/Banque_de_France_stabilite_financiere_rapport_mnbc_2023.pdf

BIS. (11 de April de 2023). Obtenido de <https://www.bis.org/publ/bisbull73.htm#:~:text=Private%20tokenised%20monies%20that%20circulate%20as%20bearer%20instruments%2C,central%20bank%20money%20are%20more%20conducive%20to%20singleness>

BIS. (2023). III. Blueprint for the future monetary system: improving the old, enabling the new. Obtenido de <https://www.bis.org/publ/arpdf/ar2023e3.pdf>

Deutsche Bundesbank. (Abril de 2021). Digital money: options for payments. Obtenido de <https://www.bundesbank.de/resource/blob/865166/f28d25bc79a5c78c7cf67d8002b78c81/mL/2021-04-digitales-geld-data.pdf>

Deutsche Bundesbank. (Marzo de 2021). DLT-based securities settlement in central bank money successfully tested. Obtenido de <https://www.bundesbank.de/en/press/press-releases/dlt-based-securities-settlement-in-central-bank-money-successfully-tested-861444>

ESMA. (29 de Enero de 2024). On the draft Guidelines on the conditions and criteria for the qualification of crypto-assets as financial instruments. Obtenido de https://www.esma.europa.eu/sites/default/files/2024-01/ESMA75-453128700-52_MiCA_Consultation_Paper_-_Guidelines_on_the_qualification_of_crypto-assets_as_financial_instruments.pdf

Financial Stability Board. (2022 de Febrero de 2022). Obtenido de <https://www.fsb.org/2022/02/assessment-of-risks-to-financial-stability-from-crypto-assets/>

Financial Times. (7 de January de 2024). G20 push for faster payments risks weakening Russia sanctions, experts warn. Financial Times. Obtenido de <https://www.ft.com/content/b84c4d12-0591-44c9-b49a-fe198373235a>

World Economic Forum. (Abril de 2024). Modernizing Financial Markets with Wholesale Central Bank Digital Currency (wCBDC).

World Economic Forum. (27 de Abril de 2024). Repunte del comercio mundial de mercancías y otras noticias sobre el comercio internacional para leer este mes. World Economic Forum. Obtenido de <https://es.weforum.org/stories/2024/04/repunte-del-comercio-mundial-de-mercancias-y-otras-noticias-sobre-el-comercio-internacional-para-leer-este-mes/>

BME
Bolsas y Mercados Españoles
Plaza de la Lealtad, 1
Palacio de la Bolsa
28014 Madrid

www.bolsasymercados.es

Este material ha sido preparado por Bolsas y Mercados Españoles, Sociedad Holding de Mercados y Sistemas Financieros S. A. (BME) y/o sus filiales (en conjunto, "BME", todas las anteriores entidades pertenecientes al grupo encabezado por SIX Group Ltd., en adelante "Grupo SIX") para el uso exclusivo de las personas a las que BME entrega este material. Este material o cualquiera de sus contenidos no debe interpretarse como un acuerdo vinculante, una recomendación, un consejo de inversión, solicitud, invitación u oferta de compra o venta de información financiera, productos, soluciones o servicios. Dicha información tampoco es un reflejo de posiciones (propias o de terceros) en firme de los intervinientes en el Mercado de Valores Español. Ni BME ni el Grupo SIX tienen obligación alguna de actualizar, revisar o mantener al día el contenido de este material, y estará sujeto a cambios sin previo aviso en cualquier momento. Ninguna representación, garantía o compromiso -expreso o implícito- es compromiso -expreso o implícito- es o será dado por BME o el Grupo SIX en cuanto a la exactitud, integridad, suficiencia, idoneidad o fiabilidad del contenido de este material.

Ni BME ni SIX garantizan la licitud, fiabilidad, utilidad, veracidad, exactitud, exhaustividad y actualidad de la información aportada por fuentes externas, en particular en los datos utilizados a lo largo del informe. Por lo que, ni BME ni SIX serán responsable de los daños y perjuicios que pudieran sufrir los usuarios como consecuencia de la ilicitud, no fiabilidad, inexactitud, falta de veracidad, no exhaustividad y/o no actualidad de los contenidos.

Al reflejar opiniones teóricas, su contenido es meramente informativo y por tanto no debe ser utilizado para valoración de carteras o patrimonios, ni servir de base para recomendaciones de inversión. Las Entidades contribuidoras, BME y las entidades pertenecientes al Grupo SIX no serán responsables de ninguna pérdida financiera, ni decisión tomada sobre la base de la información contenida en este material. En general, BME ni ninguna de sus filiales, ni las Entidades contribuidoras, sus administradores, representantes, asociados, sociedades controladas, directores, socios, empleados o asesores asumen responsabilidad alguna en relación con dicha información, ni de cualquier uso no autorizado del mismo.

Este material es propiedad de BME y no puede ser impreso, copiado, reproducido, publicado, transmitido, divulgado o distribuido de ninguna forma sin el consentimiento previo por escrito de BME.

2025 Bolsas y Mercados Españoles, Sociedad Holding de Mercados y Sistemas Financieros S. A. Todos los derechos reservados.