

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

DescentraCloud: Desarrollo de una Blockchain para Almacenamiento Seguro y Compartición de Archivos con Mecanismos de Incentivos y Almacenamiento Fragmentado.

Luis Emilio Astudillo Albán

Ingeniería en Ciencias de la Computación

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniero en Ciencias de la Computación

Quito, 15 de diciembre de 2023

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**DescentraCloud: Desarrollo de una Blockchain para Almacenamiento Seguro y
Compartición de Archivos con Mecanismos de Incentivos y Almacenamiento
Fragmentado.**

Luis Emilio Astudillo Albán

Nombre del profesor, Título académico Ricardo Flores Moyano, Ph. D

Quito, 15 de diciembre de 2023

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Luis Emilio Astudillo Alban

Código: 00211000

Cédula de identidad: 1719296996

Lugar y fecha: Quito, 15 de diciembre de 2023

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

DescentraCloud es un proyecto innovador que integra las tecnologías de blockchain e IPFS con Docker para abordar el almacenamiento y compartición de datos de manera descentralizada. El enfoque del proyecto ha sido la implementación y el despliegue de redes descentralizadas, proporcionando una solución segura y eficiente a los retos de los modelos de almacenamiento centralizados. Durante su desarrollo, DescentraCloud ha mostrado ser una plataforma eficaz para la simulación y operación de redes descentralizadas.

Este trabajo destaca por su capacidad para crear un entorno de almacenamiento descentralizado, combinando la seguridad del blockchain con la flexibilidad y eficiencia del IPFS. Los resultados obtenidos demuestran la viabilidad de DescentraCloud como una herramienta potente en el panorama actual del almacenamiento de datos, especialmente en términos de seguridad y accesibilidad.

Palabras clave:

Blockchain, IPFS, Docker, Almacenamiento Descentralizado, DescentraCloud, Simulación de Redes, Redes P2P, Almacenamiento Fragmentado.

ABSTRACT

DescentraCloud is an innovative project that merges blockchain and IPFS technologies with Docker to address decentralized data storage and sharing. The focus of the project has been on the implementation and deployment of decentralized networks, providing a secure and efficient solution to the challenges of centralized storage models. Throughout its development, DescentraCloud has proven to be an effective platform for simulating and operating decentralized networks.

This work is notable for its ability to create a decentralized storage environment, combining the security of blockchain with the flexibility and efficiency of IPFS. The results demonstrate the viability of DescentraCloud as a powerful tool in the current data storage landscape, especially in terms of security and accessibility.

Key Words:

Blockchain, IPFS, Docker, Decentralized Storage, DescentraCloud, Network Simulation, P2P Networks, Fragmented Storage.

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción	9
2. Alcance y limitaciones	11
3. Requisitos y especificaciones	12
Requisitos funcionales	12
Requisitos no funcionales	12
Especificaciones técnicas	13
Criterios de aceptación	13
Restricciones	13
4. Metodología de trabajo	13
5. Estado del arte	14
Antecedentes: historia y evolución del almacenamiento y compartición de datos	14
Blockchain y su aplicación en el almacenamiento de datos	15
Almacenamiento fragmentado e ipfs	16
Mecanismos de incentivo en redes p2p y blockchain	17
Herramientas asociadas: docker y su relevancia en la simulación y despliegue de redes ...	18
Soluciones en almacenamiento descentralizado: filecoin y las diferencias con descentracloud	19
6. Desarrollo de “descentracloud”	19
Visión general de la arquitectura	19
Mecanismo de recompensas y economía de almacenamiento	21
Blockchain y componentes principales	23
Arquitectura y comunicaciones de la clase node	25
Diagrama de flujo del proceso de transacciones en blockchain	27
7. Despliegue de infraestructura y servicios en "descentracloud"	29
Introducción a docker compose	29
Gestión de contenedores docker	29
Configuraciones de red y almacenamiento en docker	30
Diseño y configuración en "descentracloud"	30
8. Pruebas y validación	33
9. Conclusiones y trabajos futuros	38
10. Referencias	40
11. Anexo a: repositorio en github de descentracloud	42
12. Anexo b: diagrama uml descentracloud	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Arquitectura Simplificada de DescentraCloud.....	21
Figura 2. Estructura y Operación de la Clase Blockchain	24
Figura 3. Funcionamiento y Conectividad de la Clase Node.....	26
Figura 4. Ciclo de Vida de las Transacciones en la Red Blockchain	28
Figura 5. Arquitectura de Contenedores en DescentraCloud.....	31
Figura 6. Diagrama de Módulos de DescentraCloud.....	32
Figura 7. Captura de Pantalla 1 - Muestra la salida del comando docker compose up	33
Figura 8. Captura de Pantalla 2 - Registro de nodos en el Consul.....	33
Figura 9. Captura de Pantalla 3 - Generación de la transacción de inicialización y la comprobación de la lista de transacciones pendientes.	34
Figura 10. Captura de Pantalla 4 – Inicio proceso de validación.....	34
Figura 11. Captura de Pantalla 5 - Broadcasting de la blockchain actualizada a los nodos. ...	34
Figura 12. Captura de Pantalla 6 - Recepción y actualización de la información en un nodo tras un broadcast.....	35
Figura 13. Captura de Pantalla 7 - GUI en acción, con la generación exitosa de una transacción de 'stake'	35
Figura 14. Captura de Pantalla 8 - GUI en acción, con la generación exitosa de una transacción de 'become_validator'.....	36
Figura 15. Captura de Pantalla 9 - GUI de IPFS durante la carga de un archivo.	36
Figura 16. Captura de Pantalla 10 - Visualización de cambios en la carpeta 'blocks' dentro de los volúmenes de IPFS.	37
Figura 17. Captura de Pantalla 11 - GUI de IPFS confirmando la recuperación exitosa de un archivo utilizando su CID correspondiente.....	37

1. INTRODUCCIÓN

En la dinámica contemporánea de la era digital, caracterizada por la creación y distribución de datos en magnitudes sin precedentes, las estrategias para el almacenamiento y la compartición de información enfrentan desafíos monumentales en términos de seguridad, privacidad y eficiencia. Ante este panorama, el paradigma de la descentralización surge como una alternativa fundamental que responde a dichas inquietudes, otorgando a los usuarios un control y autonomía ampliados sobre sus datos y, simultáneamente, promoviendo un entorno robusto frente a fallos y amenazas de seguridad.

Este trabajo introduce DescentraCloud, un proyecto que se sumergen las profundidades de las tecnologías de blockchain e InterPlanetary File System (IPFS), con el objetivo de erigir un marco de trabajo donde los datos pueden ser almacenados y compartidos de manera segura y eficiente en un contexto descentralizado. Al aprovechar las tecnologías de blockchain, que asegura y verifica una cadena de bloques, junto con IPFS, que posibilita una red peer-to-peer para el almacenamiento y recuperación de datos, DescentraCloud no solo aspira a explorar, sino también a simular y analizar las posibilidades y desafíos emergentes de dichas implementaciones tecnológicas.

La exploración se efectúa en un entorno de simulación controlado y reproducible, proporcionado por Docker, una plataforma que facilita el despliegue de aplicaciones en contenedores, ofreciendo un entorno coherente y aislado para probar, desarrollar y, eventualmente, desplegar aplicaciones en una variedad de entornos y plataformas. Mediante Docker, se pretende simular la red descentralizada para el almacenamiento de datos, permitiendo una exploración profunda de las interacciones, transacciones y dinámicas que pueden surgir en un ecosistema descentralizado real.

DescentraCloud aspira a la creación de un prototipo funcional, centrando el enfoque en la implementación práctica del sistema. Permitiendo una comprensión profunda de los sistemas descentralizados para el almacenamiento y compartición de datos, atravesando las barreras teóricas y avanzando hacia un espacio de aplicación práctica y validación experimental.

La perspectiva de implementar tecnologías descentralizadas, tal como se esboza en DescentraCloud, revela una faceta particularmente intrigante en el entorno ecuatoriano. Este enfoque no se percibe meramente como un método para intensificar la autonomía de datos entre individuos y corporativos, sino también como un instrumento tangible para enfrentar retos concretos relacionados con la accesibilidad y la soberanía de la información. En Ecuador, la pertinencia y aplicabilidad de las soluciones descentralizadas se entremezclan con una visión futurista, visualizando la tecnología como un cimiento esencial para fomentar el desarrollo, la inclusión y la seguridad digital, abarcando diversos sectores de la sociedad y economía.

Siguiendo este prefacio, este trabajo abordará detalladamente las tecnologías involucradas, la metodología adoptada para la simulación, así como los resultados obtenidos, proporcionando un camino que se irá desentrañando a lo largo de las siguientes secciones, encaminándonos hacia un entendimiento más profundo y aplicado de DescentraCloud.

2. ALCANCE Y LIMITACIONES

DescentraCloud se presenta como un proyecto que busca explorar, simular y analizar el potencial y los desafíos de una plataforma de almacenamiento de datos descentralizada utilizando tecnologías blockchain e IPFS, dentro de un entorno controlado propiciado por Docker. El desarrollo del proyecto contempla:

- **Exploración de Tecnologías:** Abarcará una investigación exhaustiva sobre blockchain e IPFS para entender y aplicar sus principios en el contexto del almacenamiento y compartición de datos.
- **Simulación de la Red:** Empleará Docker para simular una red descentralizada.
- **Desarrollo de Mecanismos:** Incluirá el diseño e implementación de sistemas, tales como mecanismos de incentivo y uso de almacenamiento fragmentado mediante IPFS.
- **Análisis de la Funcionalidad:** Se llevará a cabo un análisis enfocado en verificar la funcionalidad esencial de la implementación, concentrándonos en la estabilidad básica y la operatividad del sistema.

Aunque DescentraCloud aborda múltiples dimensiones del almacenamiento y compartición de datos descentralizados, también es fundamental reconocer las limitaciones inherentes al proyecto:

- **Viabilidad a Gran Escala:** El proyecto se enfoca en una simulación y no en la implementación a gran escala en un entorno de producción, lo cual podría conllevar distintos desafíos y dinámicas.
- **Recursos y Tiempo:** Dado que se desarrolla en un contexto académico, los recursos y el tiempo son limitados, lo que podría restringir la profundidad de la exploración y el análisis de ciertos aspectos.

- **Análisis Pragmático:** El proyecto no abarcará un análisis detallado del rendimiento o pruebas de características avanzadas como carga y estrés o escenarios de la vida real. Esta decisión se alinea con las limitaciones de tiempo y recursos, enfocándonos en demostrar la viabilidad conceptual y técnica básica de la plataforma.
- **Interfaz de Usuario:** El desarrollo de una interfaz de usuario está sujeto a la disponibilidad de tiempo y recursos y podría no ser parte del producto final entregado en este proyecto.
- **Condiciones del Entorno de Prueba:** Las condiciones en el entorno de Docker pueden no reflejar completamente las condiciones de un entorno de producción, lo que podría impactar en la precisión de las métricas de rendimiento y seguridad.

A través de esta sección de Alcance y Limitaciones, se pretende ofrecer una perspectiva transparente y honesta sobre qué se busca lograr con DescentraCloud y cuáles son los posibles obstáculos y restricciones que podrían influir en el desarrollo y resultados del proyecto. Este enfoque permite establecer expectativas claras y proporcionar un contexto adecuado para los lectores y participantes del proyecto sobre lo que se puede esperar del mismo.

3. REQUISITOS Y ESPECIFICACIONES

Requisitos funcionales

- **Blockchain:** Desarrollo y validación usando Python y PoS (Proof of Stake).
- **IPFS:** Implementación y conexión de nodos IPFS usando Docker.
- **Docker:** Creación y gestión de imágenes Docker y utilización de Docker Compose y Volumes.

Requisitos no funcionales

- **Escalabilidad:** Asegurar la capacidad de manejar un aumento en la carga de trabajo.

- Desempeño: Velocidad de procesamiento y recuperación de datos.
- Seguridad: Integridad y seguridad de los datos y transacciones.
- Disponibilidad: Accesibilidad constante a datos y red.

Especificaciones técnicas

- Lenguaje y Librerías: Uso de Python y librerías de blockchain.
- Docker: Implementación de contenedores y aplicaciones multicontenedor.
- IPFS: Uso para almacenamiento descentralizado.

Criterios de aceptación

- Blockchain Operativa: Creación y validación exitosa de transacciones.
- Funcionalidad IPFS: Almacenamiento y recuperación efectiva de datos.
- Comunicación Docker: Interacción efectiva entre contenedores Docker.

Restricciones

- Consenso: Uso de Proof of Stake (PoS) como método de consenso.

4. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El desarrollo de DescentraCloud se basa en un enfoque iterativo e incremental respaldado por la norma ISO/IEC 29110, que se ha desarrollado para mejorar la calidad del sistema o software y/o el rendimiento del proceso (ISO/IEC, 2018). Fases Clave del Desarrollo:

1. Investigación Preliminar: Exploración de tecnologías blockchain e IPFS y evaluación de simulación en Docker.
2. Diseño del Sistema: Elaboración de la arquitectura enfocando en seguridad y almacenamiento.

3. Desarrollo y Prueba de Prototipos: Construcción y revisión de prototipos y pruebas iniciales en entorno simulado.
4. Análisis y Mejora: Ajustes basados en datos recogidos durante las pruebas.
5. Documentación y Presentación: Compilación y comunicación de los hallazgos y aprendizajes.

Enfoque ISO/IEC 29110:

1. Planeación: Definición de requisitos y gestión de riesgos.
2. Desarrollo: Ciclo iterativo y gestión de cambios.
3. Entrega: Validación, entrega de entregables y recopilación de retroalimentación.

Este marco de trabajo, estructurado bajo la ISO/IEC 29110, no solo proporciona una ruta clara y ordenada para el desarrollo del proyecto sino también asegura un grado de flexibilidad, permitiendo que DescentraCloud se desarrolle, aprenda y se adapte de manera fluida a lo largo de su ciclo de vida.

5. ESTADO DEL ARTE

Antecedentes: historia y evolución del almacenamiento y compartición de datos

Desde los primeros sistemas de almacenamiento basados en papel hasta las actuales soluciones en la nube, la historia del almacenamiento de datos ha sido rica y evolutiva. En el siglo II a.C., se utilizó papel avanzado para la retención de datos en China, marcando un punto de inicio en la historia de almacenamiento de información (Goda & Kitsuregawa, 2012). La era de la tecnología magnética introdujo sistemas más eficientes, aunque con la revolución del almacenamiento en la nube, como con plataformas como Amazon S3, el paradigma del acceso y almacenamiento de datos fue redefinido (Goda & Kitsuregawa, 2012).

Notablemente, a medida que las tecnologías de almacenamiento han avanzado, también lo ha hecho su capacidad, especialmente en un contexto donde la información ha crecido de manera exponencial. Este crecimiento en los datos ha sido impulsado por, y a su vez, ha impulsado avances en campos como el aprendizaje automático, la inteligencia artificial y la minería de datos. La necesidad de procesar y almacenar grandes conjuntos de datos ha hecho que la capacidad de almacenamiento sea un aspecto crucial en la implementación efectiva de estas tecnologías.

El camino hacia soluciones de almacenamiento optimizadas y seguras, como "DescentraCloud", que integra blockchain y almacenamiento fragmentado, busca no solo aprender de los sistemas pasados y presentes, sino también proporcionar una plataforma que pueda abordar las crecientes demandas de la era digital actual y futura.

Blockchain y su aplicación en el almacenamiento de datos

La introducción de la tecnología blockchain en el almacenamiento de datos ha revolucionado la gestión y seguridad de la información, especialmente en sistemas ciberfísicos e Internet Industrial de las Cosas (IIoT). Esta sección se sumerge brevemente en las características, aplicaciones y mecanismos de almacenamiento de datos mediante blockchain, apoyándose en investigaciones pertinentes.

La blockchain, caracterizada por su descentralización, distribuye datos a través de la red, eliminando puntos únicos de fallo y garantizando un almacenamiento seguro y resistente a manipulaciones (Wang et al., 2020). Esta tecnología ha encontrado aplicaciones críticas en sistemas ciberfísicos, mejorando la seguridad mediante su inmutabilidad y transparencia, y en el IIoT, asegurando la transmisión continua de datos generados por máquinas (Wang et al., 2020).

La integración de blockchain en los sistemas ciberfísicos ha potenciado la seguridad y la ejecución automática de operaciones a través de contratos inteligentes (Wang et al., 2020). En el IIoT, la blockchain facilita el almacenamiento de datos de manera descentralizada, mientras que los mecanismos basados en acumuladores han sido propuestos para una verificación de datos más eficiente en comparación con los métodos basados en árboles de Merkle (Wang et al., 2020).

En síntesis, la blockchain se perfila como un paradigma robusto para el almacenamiento de datos, siendo especialmente pertinente en sectores donde la seguridad y la gestión eficiente de datos es crucial.

Almacenamiento fragmentado e IPFS

El almacenamiento fragmentado, aunque vital para la seguridad de los datos en la nube, presenta desafíos como el aumento en el tiempo de restauración de la información. La minimización efectiva de la fragmentación, que mejora tanto la capacidad de almacenamiento como la eficiencia, es crucial en este contexto (Pandian & Smys, 2020).

El Sistema de Archivos Interplanetario (IPFS) se presenta como una solución revolucionaria al ofrecer un sistema de almacenamiento y acceso a datos descentralizado. IPFS elimina puntos únicos de fallo, permitiendo que los datos sean recuperados siempre que al menos un nodo en la red los posea (IPFS).

En lugar de depender del acceso a datos basado en ubicación, IPFS permite el acceso basado en el contenido, abordando problemas como la latencia y el "link rot" para garantizar la accesibilidad del contenido sin importar su localización. Hablando de "link rot", se refiere a la ruptura de enlaces web, es decir, cuando un URL deja de llevarnos al contenido esperado porque este ha sido movido o eliminado. Con IPFS, los datos permanecen accesibles mediante un identificador único basado en el contenido mismo, no en su ubicación, proporcionando así

autonomía y previniendo la pérdida de información en la red. Además, otorga a los usuarios control sobre los datos e infraestructura, mitigando el riesgo de bloqueos por parte de los proveedores.

En síntesis, IPFS, con su robustez y descentralización, junto con estrategias para minimizar la fragmentación, se perfila como una estrategia sólida para el futuro del almacenamiento de datos.

Mecanismos de incentivo en redes P2P y blockchain

En sistemas P2P y blockchain, especialmente donde IPFS y Prueba de Participación (Proof of Stake, PoS) son implementados, es vital incentivar a los nodos para almacenar y gestionar datos. A partir de la implementación de mecanismos de incentivo basados en blockchain, los nodos que almacenan datos no solo pueden proporcionar funciones de almacenamiento esenciales sino también ser recompensados por sus esfuerzos, promoviendo así una red más robusta y participativa.

Ren et al. (2018) introducen un enfoque donde los nodos son recompensados con dinero digital en función de la cantidad de datos que almacenan: "In our system, the nodes storing the data are rewarded with digital money. The more the data stored by the node, the more the reward it achieves". Este principio sostiene que la compensación en forma de criptomonedas (o dinero digital) es proporcionada a los nodos, creando un entorno donde el almacenamiento de mayores volúmenes de datos es directamente proporcional a las recompensas recibidas.

Estos mecanismos, particularmente al emplear PoS en lugar de Prueba de Trabajo (PoW), permiten un entorno descentralizado donde los nodos son incentivados a maximizar su almacenamiento de datos y participación en la red, mientras mantienen bajos los requisitos de potencia computacional.

Así, combinando blockchain, IPFS y un mecanismo de incentivo sólido, es posible crear un ecosistema descentralizado, seguro y eficiente para el almacenamiento de datos, donde los participantes están motivados para contribuir y mantener la integridad de la red.

Herramientas asociadas: docker y su relevancia en la simulación y despliegue de redes

Docker se ha consolidado como una herramienta esencial para los desarrolladores y administradores de sistemas gracias a su habilidad para crear, desplegar y ejecutar aplicaciones de manera eficiente y consistente en diversos entornos mediante el uso de contenedores. En el contexto de redes y, específicamente, en los entornos que involucran blockchain e IPFS, Docker se ha revelado como particularmente valioso.

Puede haber varios aspectos por los que Docker es relevante en la simulación y despliegue de redes:

- Entornos Consistentes: Docker permite a los desarrolladores crear un entorno consistente para aplicaciones, eliminando el clásico problema de "funciona en mi máquina" al empaquetar las aplicaciones y sus dependencias en un contenedor Docker.
- Escalabilidad: Docker facilita el despliegue de aplicaciones en un cluster, lo que es fundamental cuando se trata de redes blockchain y P2P, donde la escalabilidad puede ser un desafío.
- Aislamiento: Los contenedores permiten el aislamiento de las aplicaciones, lo que mejora la seguridad al crear una capa adicional entre las aplicaciones y el sistema operativo host.
- Automatización: Con Docker, los desarrolladores pueden automatizar la creación de contenedores, haciendo más sencillo el despliegue de aplicaciones y redes en diferentes plataformas y entornos.

Soluciones en almacenamiento descentralizado: filecoin y las diferencias con DescentraCloud

Filecoin emerge como solución en almacenamiento descentralizado, basándose en una red peer-to-peer que permite almacenar archivos con incentivos económicos y criptografía para asegurar una conservación confiable de los mismos a lo largo del tiempo (Filecoin, s.f.). A pesar de que Filecoin e IPFS, ambos productos de Protocol Labs, pueden operar de manera independiente, trabajan de forma complementaria: mientras IPFS facilita el almacenamiento y transferencia de datos verificables entre pares, Filecoin proporciona un sistema para un almacenamiento de datos persistente y es descrito como una capa de incentivo para la persistencia de datos (Filecoin, s.f.).

En comparación, 'DescentraCloud' busca explorar y simular tecnologías blockchain e IPFS en una escala educativa y manejable, brindando un entorno de estudio e investigación para estudiantes y entusiastas que desean profundizar de manera práctica en el almacenamiento descentralizado de datos utilizando Docker como entorno controlado.

6. DESARROLLO DE “DESCENTRA CLOUD”

Visión general de la arquitectura

DescentraCloud emerge de una implementación práctica en Python, centrada en la exploración de la blockchain y el Almacenamiento descentralizado. La plataforma se ha construido a partir de una comprensión detallada de las estructuras de blockchain, integradas con tecnologías de contenedorización como Docker y redes de archivos distribuidos como IPFS. DescentraCloud se basa en una blockchain orientada al modelo de Prueba de Participación (Proof of Stake) reflejando un firme compromiso con la eficiencia energética y la equidad en la red (Fairley, P., 2019). Como se ha demostrado en el reciente proceso de transición de Ethereum hacia Ethereum 2.0, este cambio ha permitido destacar las ventajas del Proof of Stake,

evidenciando sus beneficios en términos de sostenibilidad y participación activa de los usuarios en la seguridad y el funcionamiento de la red. (Asif & Hassan, 2023).

La adopción de Proof of Stake implica diferentes roles para las billeteras o wallets. Los usuarios pueden actuar como stakeholders o validadores, roles fundamentales para la integridad y estabilidad de la red, como subraya la investigación de Chen, Luo, Shi, Cao y Zhang (2023). Estos roles son vitales no solo para el mantenimiento de la red, sino también para fomentar un entorno descentralizado y democrático en la toma de decisiones y validación de transacciones. La Figura 1 muestra la arquitectura simplificada de DescentraCloud, en su núcleo está DescentraCoin, la moneda del sistema, que regula las dinámicas económicas de la red y motiva la participación de los usuarios. Los Wallets manejan los balances y permiten a los usuarios funcionar como stakeholders o validadores, esenciales para la interacción con la blockchain y la gestión de claves criptográficas. Las transacciones son gestionadas por la clase Transaction, que asegura la integridad y el seguimiento de las transferencias de DescentraCoin, y son agrupadas en Blocks que incluyen mecanismos de seguridad como el hash del bloque anterior para mantener la cadena inmutable y continua. Finalmente, la Blockchain es el corazón del sistema, registrando todas las transacciones, validando y almacenando bloques, y manteniendo el consenso del sistema Proof of Stake. Este diseño orientado a objetos favorece la flexibilidad, adaptabilidad y está alineado con las mejores prácticas de la tecnología blockchain, fortaleciendo un ecosistema eficiente.

En resumen, la estructura de DescentraCloud es el resultado de un diseño cuidadoso y metódico, que cumple con las normas convencionales de la tecnología blockchain. Para una exploración más profunda de la estructura técnica del sistema, se dispone del repositorio del código fuente en el Anexo A y de un diagrama UML completo en el Anexo B. La Figura 1 ofrece una representación simplificada de este sistema, proporcionando una perspectiva transparente de la integración y funcionamiento del ecosistema en su totalidad.

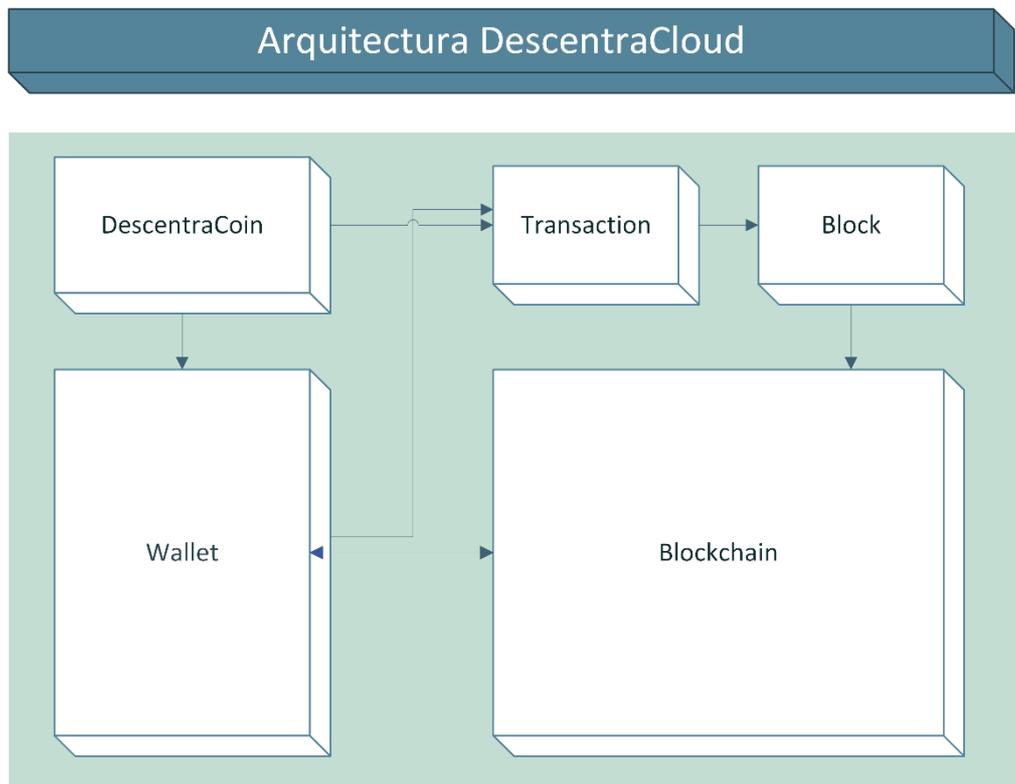


Figura 1. Arquitectura Simplificada de DescentraCloud

Mecanismo de recompensas y economía de almacenamiento

La arquitectura de DescentraCloud se complementa con un mecanismo de recompensas meticulosamente diseñado, el cual es esencial para estimular la economía de su almacenamiento descentralizado. Este sistema incentiva a los nodos mediante recompensas monetarias digitales (DescentraCoin), fomentando así una participación activa y sustentando la infraestructura de la red. Al subir archivos, los usuarios incurren en una comisión que se distribuye estratégicamente entre el mantenimiento de la red y como recompensa para los nodos que proporcionan almacenamiento, asegurando un flujo constante de compensación para aquellos que apoyan el ecosistema. Como afirman Motepalli y Jacobsen (2021), una de las características fundamentales de cualquier tecnología blockchain es su cripto-economía y los incentivos.

Inspirado en los avances de blockchains basadas en Prueba de Participación (PoS), DescentraCloud aborda proactivamente desafíos comunes. Entre estos se encuentran el problema de 'free-rider', donde algunos participantes de la red se benefician sin contribuir significativamente a ella, y el problema de 'nothing-at-stake', específico de las redes PoS, en el cual los validadores pueden actuar de manera perjudicial sin un costo significativo, al validar bloques en múltiples cadenas. DescentraCloud enfrenta estos problemas con un enfoque que garantiza una remuneración equitativa a los nodos en proporción al almacenamiento y los recursos proporcionados, fomentando así una participación activa y responsable en la red (Alharby, 2023).

La estructura de incentivos de DescentraCloud sigue el modelo de plataformas reconocidas como Ethereum, donde los sistemas de incentivos integrados motivan a los participantes a operar y mantener la red de forma segura y eficiente (Ren et al., 2018). Este diseño promueve un compromiso a largo plazo con la red, con recompensas que reflejan la valiosa contribución de los nodos en términos de almacenamiento y esfuerzo.

Los nodos que almacenan mayores volúmenes de datos reciben recompensas más significativas, promoviendo así la disponibilidad y redundancia de datos dentro de la red. Esta metodología de compensación se basa en la premisa de que en cuantos más datos almacena un nodo, mayor es su recompensa, un principio que se ha implementado exitosamente en otros contextos como las redes de sensores inalámbricos (WSNs), en donde la tecnología blockchain se ha utilizado para crear un mecanismo de incentivo para el almacenamiento de datos (Wang, Jin, Li y Perkowski, 2020).

Además, es importante destacar que el mecanismo de recompensas de DescentraCloud está estrechamente vinculado al algoritmo de consenso, un aspecto crítico para mantener la integridad y la cohesión de la información en la blockchain. Esto asegura que todos los nodos tengan una perspectiva unificada y actualizada del estado de la red. Sin embargo, en el diseño

actual de DescentraCloud no se ha implementado un sistema de penalizaciones, una característica que, según Motepalli y Jacobsen (2021), es esencial para preservar la integridad de las blockchains basadas en Proof of Stake (PoS). La ausencia de un mecanismo de consenso desarrollado en esta etapa significa que no se han abordado las penalizaciones, reflejando la decisión de posponer esta funcionalidad para fases futuras de desarrollo.

El enfoque de DescentraCloud hacia las recompensas muestra un compromiso con la creación de una plataforma equitativa y sostenible. Las recompensas no solo son justas y proporcionales a la participación de los nodos, sino que también aseguran la estabilidad y confiabilidad del sistema de almacenamiento descentralizado. Este sistema de incentivos es un pilar fundamental para el éxito y la longevidad de DescentraCloud, ofreciendo un entorno atractivo y ventajoso para todos los participantes de la red.

Blockchain y componentes principales

La Figura 2 expone la interacción y el flujo de trabajo de la clase Blockchain y sus componentes asociados. El proceso se inicia con la creación de la instancia de Blockchain, donde se genera el Bloque Génesis y se inicializan las wallets especializadas, tales como Wallet Staking y Wallet Genesis, así como la del primer validador.

En el ámbito de la wallet, se delinean las funciones clave como generar una transacción de inicialización y agregarla a las transacciones pendientes. Este es un paso preliminar esencial que prepara la wallet para su participación activa en la red Blockchain.

La sección central del diagrama detalla la estructura de una transacción típica, destacando elementos como el emisor, el receptor, el monto, el tipo de transacción, y la firma digital que garantiza su autenticidad. Además, se introduce DescentraCoin como una entidad heredada de Coin.

El proceso de validación en la red Blockchain es crítico y se activa bajo ciertas condiciones. Incluye la selección de un validador y la ejecución de la función `validate_and_create_block()`, que no solo verifica la legitimidad de las transacciones mediante `is_transaction_valid()`, sino que también ejecuta las transacciones y finalmente crea y añade un nuevo bloque a la cadena. El bloque en sí mismo contiene un índice, el hash del bloque anterior, una lista de transacciones, la identificación del validador, su propio hash, y una función para calcular dicho hash, `calculate_hash()`. Tras la validación, se genera un nuevo bloque que se adjunta a la cadena de bloques existente.

El diagrama concluye con la actualización de la red, en la que se emite un broadcast con un diccionario de la blockchain actualizada a todos los nodos. Esto permite que cada nodo sincronice su propia instancia de blockchain y actualice las wallets según sea necesario, manteniendo así la cohesión y la integridad de todo el sistema. Este proceso refleja una arquitectura robusta que facilita la escalabilidad y la seguridad de las transacciones en la red.

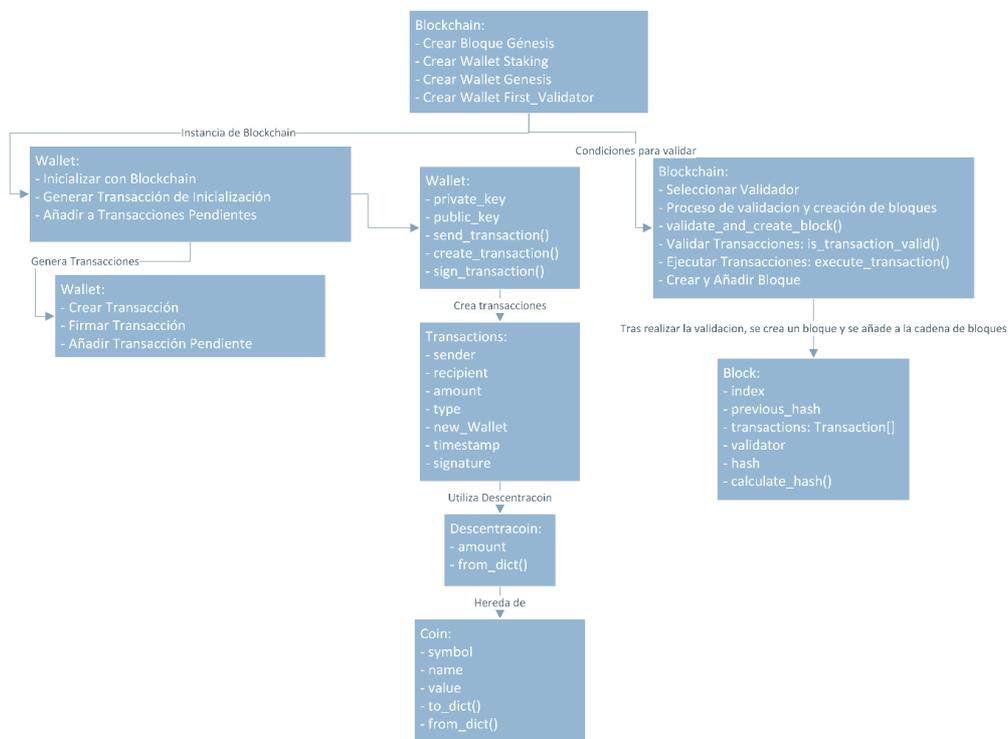


Figura 2. Estructura y Operación de la Clase Blockchain

Figura 2. Estructura y Operación de la Clase Blockchain

Arquitectura y comunicaciones de la clase node

La Figura 3 presenta la arquitectura y las responsabilidades de la Clase Node en la red blockchain. Node actúa como una entidad esencial para el mantenimiento de la red y la facilitación de las transacciones entre diferentes contenedores, incluyendo el clúster IPFS y el contenedor Consul.

La inicialización del Node comienza con la configuración de su id y el puerto de comunicación. Posteriormente, establece la instancia de la blockchain y la wallet, seguida por el registro en Consul y el descubrimiento de otros nodos. Esta fase inicial es crucial para la integración y la comunicación efectiva en la red.

El servidor Flask se inicia en un hilo separado para manejar las peticiones API, lo que permite al Node procesar transacciones, interactuar con el clúster IPFS, y validar y crear bloques según sea necesario. Este enfoque multihilo asegura que las operaciones del Node sean eficientes y no bloqueantes.

El procesamiento de transacciones dentro de DescentraCloud es una operación compleja y detallada, donde cada Node tiene múltiples responsabilidades críticas. Un Node no solo recibe y procesa transacciones, sino que también interactúa con el clúster de IPFS para enviar y recuperar datos, y cumple un rol vital en la validación y creación de bloques. Además, cada Node está programado para ejecutar acciones especializadas según el tipo de transacción, que pueden variar desde staking y unstaking hasta la modificación de parámetros esenciales de la blockchain y las wallets asociadas.

La última etapa del proceso de un Node es crucial: se encarga de la difusión de la información actualizada de la blockchain a través de la red. Esta operación se realiza mediante la emisión de la cadena más reciente a todos los nodos conocidos, utilizando puntos de conexión

específicos adaptados para cada acción. Este mecanismo de difusión es fundamental para mantener la sincronización entre todos los nodos, asegurando que cada wallet y el estado general de la red se mantengan actualizados y coherentes, lo que es esencial para la estabilidad y confiabilidad de la plataforma DescentraCloud.

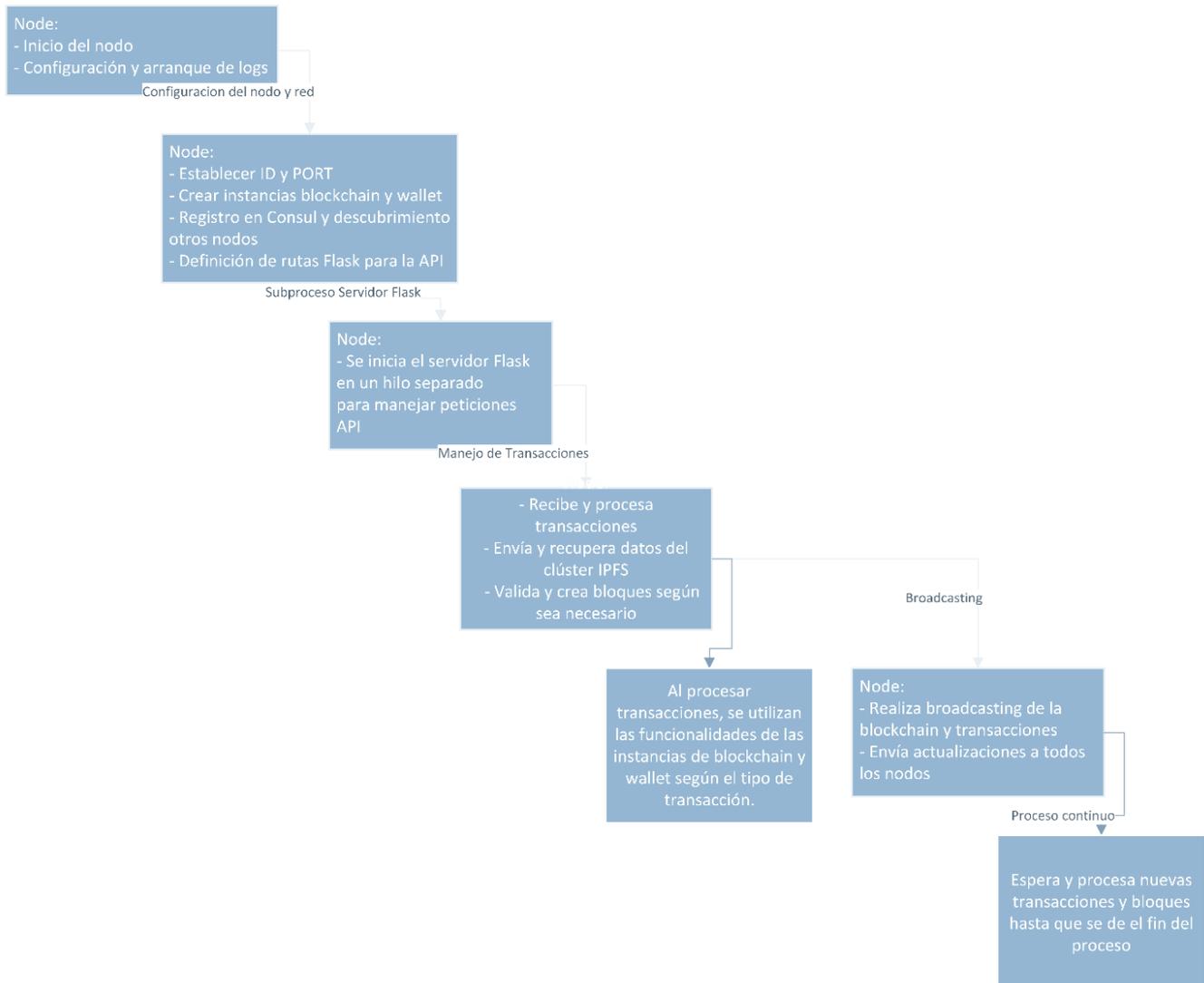


Figura 3. Funcionamiento y Conectividad de la Clase Node

Diagrama de flujo del proceso de transacciones en blockchain

La Figura 4 ilustra meticulosamente el ciclo de vida de una transacción en la red blockchain de DescentraCloud, delineando cada paso desde su inicio hasta su conclusión. El proceso comienza con la Generación de la Transacción, que puede adoptar diversos tipos, incluyendo la inicialización de una Wallet, la conversión de un participante a Validador, la terminación de la actividad de un Validador, así como operaciones de Staking y Unstaking. Además, engloba las Transacciones Regulares, la asignación de Recompensas y las tareas de carga y descarga asociadas al sistema de archivos interplanetarios (IPFS). Una vez generada, la transacción entra en la cola de Transacciones Pendientes, a la espera de ser procesada en el siguiente bloque.

El paso hacia la Validación de la Transacción se activa bajo dos condiciones: alcanzar un umbral de transacciones pendientes o mediante la invocación de un endpoint para iniciar la validación. Este proceso se adapta al tipo de transacción, ejecutando acciones específicas y actualizando parámetros dentro de la blockchain y las wallets relacionadas.

Con las transacciones validadas y ejecutadas, se procede a la Creación de un Nuevo Bloque que encapsula todas las transacciones válidas. Este bloque es entonces añadido a la cadena de bloques, y seguidamente, se realiza un Broadcast de la Blockchain Actualizada. Aquí se distribuye un diccionario con los datos actualizados de la blockchain a todos los nodos de la red. Esto permite que cada nodo actualice su instancia de blockchain y ajuste sus wallets si es necesario, manteniendo la coherencia, integridad y continuidad operativa de toda la red Blockchain. Este procedimiento meticuloso garantiza que la red no solo sea segura y transparente, sino que también se mantenga adaptativa y eficiente frente a las cambiantes dinámicas de las transacciones y las actividades de los usuarios.

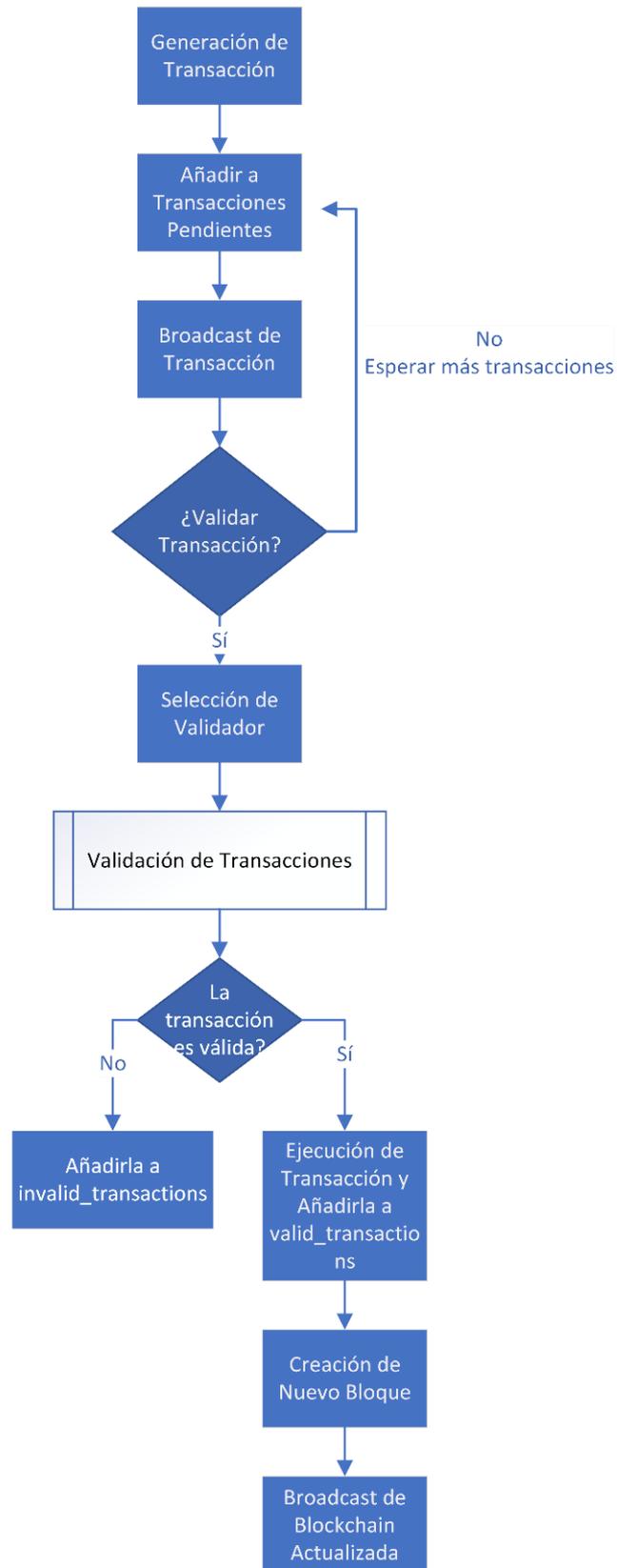


Figura 4. Ciclo de Vida de las Transacciones en la Red Blockchain

7. DESPLIEGUE DE INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS EN "DESCENTRA CLOUD"

Introducción a docker compose

Docker Compose nace como una solución a la necesidad de gestionar múltiples contenedores de manera eficiente y coordinada. Su propósito es simplificar la configuración y el despliegue de aplicaciones compuestas por varios contenedores, centralizando esta gestión en un único archivo YAML. Esta característica permite a los desarrolladores definir y controlar con precisión los servicios, redes y volúmenes necesarios para una aplicación.

La herramienta facilita la creación de entornos consistentes a través de diferentes fases de desarrollo, desde la prueba hasta la producción, asegurando que las aplicaciones se comporten de manera uniforme en todos los entornos. Además, ofrece una manera ágil de realizar cambios y actualizaciones en los servicios, reflejando las modificaciones en tiempo real con mínima intervención.

Gestión de contenedores docker

La gestión de contenedores en Docker implica la creación de imágenes a partir de un Dockerfile. Este archivo de texto contiene instrucciones para construir la imagen, definiendo el entorno operativo y las dependencias necesarias.

Para una aplicación, el Dockerfile especifica un sistema operativo base, copia los archivos de la aplicación y utiliza un archivo requirements.txt para instalar dependencias. El requirements.txt lista las librerías necesarias, que Docker instala ejecutando comandos como `pip install -r requirements.txt`.

Con el *Dockerfile* y *requirements.txt* completos, se utiliza el comando *docker build* para crear la imagen. Esta imagen sirve luego para desplegar contenedores que ejecutan la aplicación en un entorno consistente y aislado.

Además, la gestión de contenedores en Docker incluye el monitoreo y mantenimiento de los contenedores en ejecución. Esto implica supervisar su rendimiento, actualizarlos con nuevas versiones de imágenes cuando sea necesario y asegurarse de que estén funcionando correctamente en todo momento.

Configuraciones de red y almacenamiento en docker

Dentro de Docker Compose, es posible configurar redes a las que los contenedores pueden pertenecer. Estas redes facilitan la comunicación entre contenedores mediante el protocolo TCP/IP, permitiendo que los servicios dentro de los contenedores interactúen de manera eficiente. Se pueden establecer reglas para mapear puertos entre el host y los contenedores, permitiendo el acceso a los servicios desde fuera del entorno de Docker. Esta configuración de red es esencial para exponer aplicaciones al mundo exterior o para la comunicación entre servicios en diferentes contenedores.

De igual forma, en Docker, el almacenamiento persistente se maneja a través del uso de volúmenes. Un volumen es una sección de almacenamiento que se crea fuera de la capa de sistema de archivos del contenedor, lo que permite que los datos persistan incluso cuando el contenedor se detiene o se elimina. Esto es crucial para aplicaciones que necesitan mantener un estado o almacenar datos entre diferentes sesiones de contenedores.

Diseño y configuración en "DescentraCloud"

La Figura 5 ilustra la arquitectura de contenedores diseñada para DescentraCloud, una plataforma que combina tecnologías de blockchain con almacenamiento distribuido IPFS, apoyándose en un sistema de descubrimiento y configuración a través de Consul.

La estructura se compone de una serie de nodos de blockchain, cada uno asociado con su correspondiente contenedor de IPFS y clúster IPFS. Los nodos de blockchain son responsables de la ejecución de la lógica de la cadena de bloques, mientras que las instancias IPFS se

encargan del almacenamiento descentralizado de archivos. Cada componente tiene volúmenes designados para la persistencia de datos, garantizando la integridad y disponibilidad a largo plazo.

Los clústeres IPFS, integrados con IPFS en redes blockchain, proporcionan una gestión esencial y coordinación de la replicación y persistencia de datos. Estos clústeres mejoran la disponibilidad y resistencia del sistema mediante políticas de replicación detalladas, asegurando que los datos estén eficientemente distribuidos y accesibles en múltiples nodos. Esta combinación resulta en una infraestructura robusta y escalable, ideal para aplicaciones de blockchain que necesitan un equilibrio entre eficiencia en el almacenamiento y una gestión de datos detallada.

Consul se integra en esta arquitectura como un servicio centralizado para el descubrimiento y configuración de servicios. Actúa como un registro de servicio, facilitando la comunicación entre los contenedores y permitiendo que los servicios se encuentren y se conecten entre sí de manera eficiente.

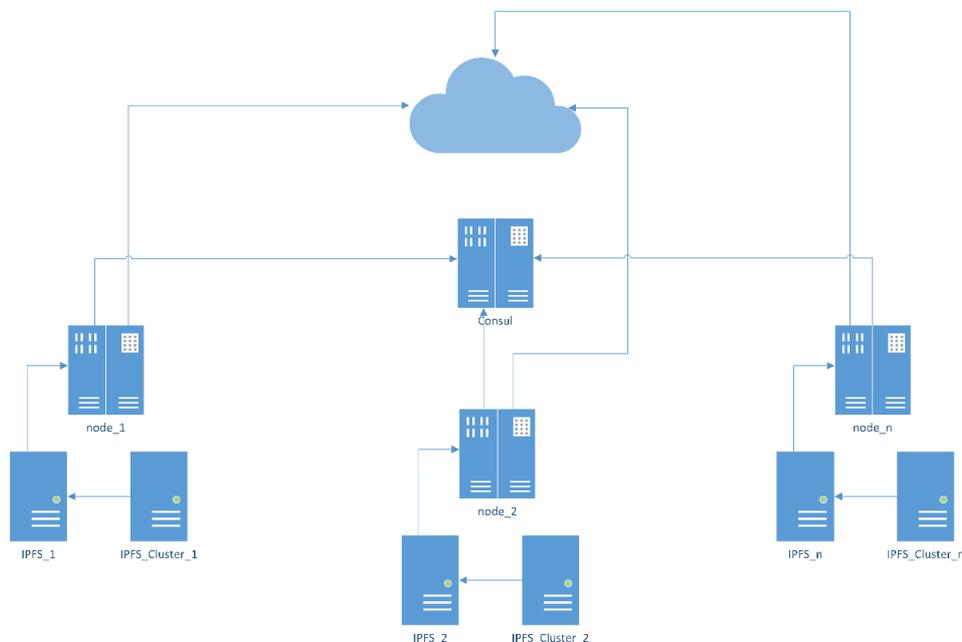


Figura 5. Arquitectura de Contenedores en DescentraCloud

La Figura 6 complementa a la Figura 5, mostrando el diagrama de módulos del funcionamiento integral del programa. En este diagrama, se destacan dos GUIs: una para gestionar las transacciones, y la otra centrada en la interacción de cada nodo con la red IPFS. Ambas GUIs utilizan los endpoints de la clase Nodo, que actúa como una API central manejando una instancia de blockchain y una billetera asociada al nodo.

La clase Nodo se encarga del registro y descubrimiento de vecinos mediante Consul, y también proporciona la lista de nodos a ambas GUIs. Además, la clase Nodo se comunica con el clúster IPFS para la carga y descarga de archivos. Aunque inicialmente se mostró un clúster IPFS por nodo, en la práctica estos clústeres funcionan como una única entidad. Esta operación unificada es clave para la eficiencia y seguridad de la red de blockchain.

La comunicación entre los clústeres IPFS se efectúa mediante un protocolo basado en libp2p. Los pares del clúster forman una red privada libp2p para coordinar y compartir métricas, utilizando un sistema de mensajes y acuerdos de consenso para la gestión de la replicación y distribución de archivos. Esta coordinación eficaz permite que los clústeres operen como una sola entidad, asegurando una propagación segura y eficiente de la información a través de la red, vital para el rendimiento y la seguridad de la red de blockchain (Sanjuan, H., 2022)

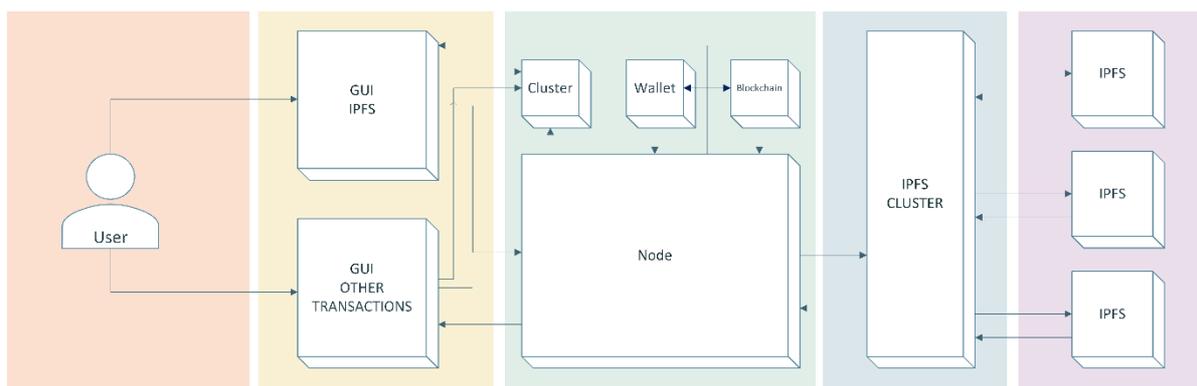


Figura 6. Diagrama de Módulos de DescentraCloud

8. PRUEBAS Y VALIDACIÓN

El proceso de pruebas de DescentraCloud comienza con la inicialización de la infraestructura subyacente. El primer paso es la construcción de la imagen de Docker a partir de nuestro Dockerfile, lo cual se lleva a cabo en el directorio que contiene el archivo, usando el comando `docker compose build`. Esta acción prepara la imagen con todas las dependencias y configuraciones necesarias definidas previamente.

Con la imagen correctamente construida, procedemos a desplegar la red de contenedores con `docker compose up`. Este comando levanta una red compuesta por tres nodos de blockchain, tres instancias de IPFS y tres clústeres IPFS, junto con un servicio de Consul, sumando un total de diez contenedores. La limitación a tres nodos se debe a restricciones de recursos del hardware disponible, aunque la red es escalable a un mayor número de nodos si se requiere.

```
C:\Users\Usuario\OneDrive\Universidad\Noveno Semestre\Proyecto Integrador\Repositorio_Final>docker compose up
time="2023-12-11T05:02:19-05:00" level=warning msg="The \"CLUSTER_SECRET\" variable is not set. Defaulting to a blank string."
time="2023-12-11T05:02:19-05:00" level=warning msg="The \"CLUSTER_SECRET\" variable is not set. Defaulting to a blank string."
time="2023-12-11T05:02:19-05:00" level=warning msg="The \"CLUSTER_SECRET\" variable is not set. Defaulting to a blank string."
[*] Building 0/0s (0/0)
[+] Running 0/0
    Container repositorio_final-consul-1   Created      0.0s
    Container repositorio_final-node1-1   Created      0.0s
    Container repositorio_final-node2-1   Created      0.0s
    Container repositorio_final-node3-1   Created      0.0s
    Container ipfs2                        Created      0.0s
    Container ipfs1                        Created      0.0s
    Container cluster2                     Created      0.0s
    Container ipfs3                        Created      0.0s
    Container cluster1                     Created      0.0s
    Container cluster3                     Created      0.0s
Attaching to cluster1, cluster2, cluster3, ipfs1, ipfs2, ipfs3, repositorio_final-consul-1, repositorio_final-no
de2-1, repositorio_final-node3-1
```

Figura 7. Captura de Pantalla 1 - Muestra la salida del comando `docker compose up`

Una vez desplegada, la red comienza la fase de registro automático con el servicio de Consul. Cada nodo obtiene identificadores únicos, puertos y direcciones del resto de los nodos para establecer la comunicación.

```
2023-12-11 05:01:37 INFO:Node:Registered service with Consul: {'Name': 'node2', 'Port': 6001, 'Address': 'd2f11dd24205b9
6b82f26b682f6bca01f858600f67cc868bddb71a15b6f4974d'}
2023-12-11 05:01:42 INFO:Node:Discovered node addresses: [{'id': 'node1', 'port': 6000, 'address': 'a701b5a175f7c31cefc7
ed7c26d5e23fe4472ced4fbeb04b472b4856f67e9ad7'}, {'id': 'node3', 'port': 6002, 'address': '4a1f965d8c934a0066fe7eebd7f1fe
a8ad48dc0b6927455df1340bc826cbbf44'}]
```

Figura 8. Captura de Pantalla 2 - Registro de nodos en el Consul

Los nodos proceden a generar una transacción de inicialización. Antes de hacer el broadcast de esta transacción al resto de nodos, se verifica si la lista de transacciones ha alcanzado el umbral definido para iniciar el proceso de validación y creación de bloques.

```
2023-12-11 05:01:52 INFO:Node:Verificando si realizar broadcast o proceso de validacion...
2023-12-11 05:01:52 INFO:Node:Sending transaction to http://node1:6000/transaction
2023-12-11 05:01:52 INFO:Node:Transaction sent from node2 to node1: {'status': 'Transaction received and processed', 'transaction_info': {'amount': {'name': 'Descentra Coin', 'symbol': 'DSC', 'value': 10000}, 'file_size': None, 'new_wallet': {'address': 'd2f11dd24205b96b82f26b682f6bca01f858600f67cc868bddb71a15b6f4974d', 'balance': {'name': 'Descentra Coin', 'symbol': 'DSC', 'value': 0}, 'files_name_hash_list': [], 'is_stakeholder': False, 'is_validator': False, 'private_key': '-----BEGIN PRIVATE KEY-----\nMIGHAgEAMBMGBYqGSM49AgEGCCqGSM49AwEHBG0wawIBAQQgz5trGjEpQZ081v/V\nuSbavLZ9kdyNzsIghVucbM\nFuwyhRANCAAS0cOXfMf+wCrCTcxGMQ6juMu71GI7C\n2p2BANP1GtVxx6qgi9oWCCP+MJC3oJv4fjUZivCmsy3fsVvc9JLxH8MU\n-----END PRIVATE KEY\n-----\n', 'public_key': '-----BEGIN PUBLIC KEY-----\nMFkwEwYHKoZIzj0CAQYIKoZIzj0DAQcDQgAEjnDL3zH/sAqwk3MRjE0o7jLu9RiO\nwtqdgQDT9RrVcceqoIvaFggj/jCQt6Cb+H41GYrwrMt37FVXPSS8R/DFA==\n-----END PUBLIC KEY\n-----\n', 'space': 100, 'staked_amount': {'name': 'Descentra Coin', 'symbol': 'DSC', 'value': 0}}, 'recipient': 'd2f11dd24205b96b82f26b682f6bca01f858600f67cc868bddb71a15b6f4974d', 'sender': '0000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000', 'signature': 'MEQCIAS\nOwCFW0+BVqPOkPtP8+JJLndTh+cbYjnZfa/AUUukhAiBn2c9niOIIJ0RkaRFK6Zu0J+d8ZCiEoWIRaqq9rczWQ==', 'timestamp': 170228897.4087398, 'type': 'Initialize wallet'}}
```

Figura 9. Captura de Pantalla 3 - Generación de la transacción de inicialización y la comprobación de la lista de transacciones pendientes.

En caso de que un nodo alcance el número necesario de transacciones, se selecciona un validador y se inicia el proceso de validación. Este proceso revisa la validez de cada transacción y, tras su ejecución, se crea un nuevo bloque. A continuación, se realiza un broadcasting de la blockchain actualizada al resto de los nodos.

```
2023-12-11 05:02:40 INFO:Node:Pending transactions are full.
2023-12-11 05:02:40 INFO:Node:Validating and creating block with validator WWWWWW
```

Figura 10. Captura de Pantalla 4 – Inicio proceso de validación.

```
2023-12-11 05:02:40 INFO:Node:Sending blockchain update to http://node2:6000/update_blockchain
2023-12-11 05:02:40 INFO:Node:Blockchain update sent from node1 to node2: {'status': 'Blockchain updated'}
2023-12-11 05:02:40 INFO:Node:Sending blockchain update to http://node3:6000/update_blockchain
2023-12-11 05:02:40 INFO:Node:Blockchain update sent from node1 to node3: {'status': 'Blockchain updated'}
2023-12-11 05:02:40 INFO:Node:Blockchain broadcasted.
```

Figura 11. Captura de Pantalla 5 - Broadcasting de la blockchain actualizada a los nodos.

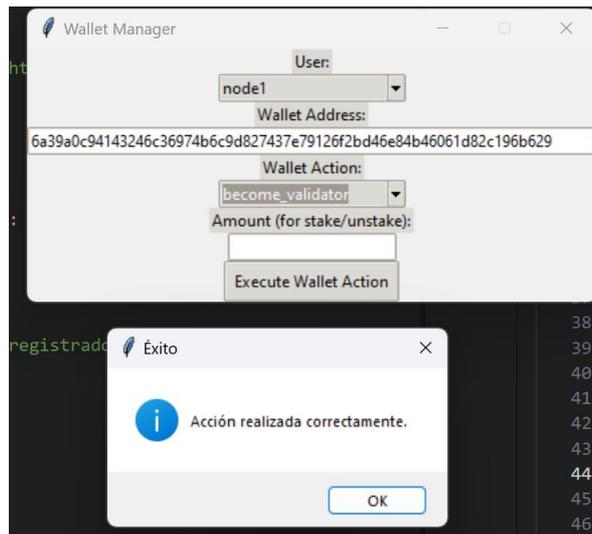


Figura 14. Captura de Pantalla 8 - GUI en acción, con la generación exitosa de una transacción de 'become_validator'

El siguiente paso en nuestra fase de pruebas se concentró en la funcionalidad de almacenamiento distribuido. Utilizando la segunda GUI, se realizó una transacción para cargar un archivo al clúster IPFS. Esta acción se traduce en la fragmentación, replicación y distribución del archivo a través de los nodos IPFS de la red.

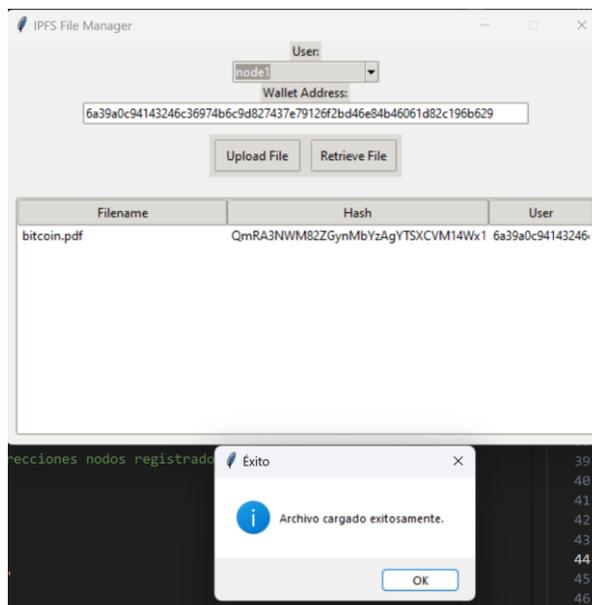


Figura 15. Captura de Pantalla 9 - GUI de IPFS durante la carga de un archivo.

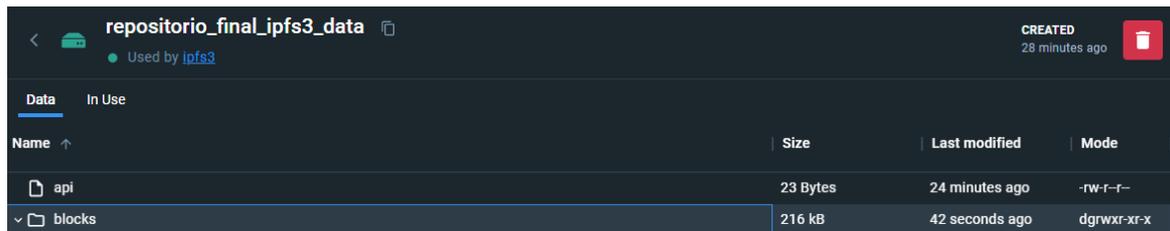


Figura 16. Captura de Pantalla 10 - Visualización de cambios en la carpeta 'blocks' dentro de los volúmenes de IPFS.

Finalmente, se procedió a verificar la integridad y accesibilidad de los archivos subidos a IPFS. La recuperación exitosa de los archivos es un indicador clave de la robustez de la red y su capacidad para manejar datos de manera segura y eficiente.

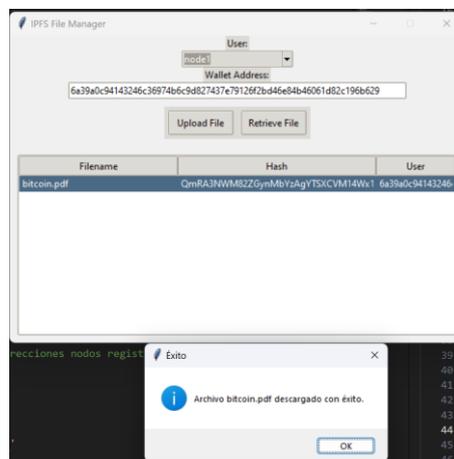


Figura 17. Captura de Pantalla 11 - GUI de IPFS confirmando la recuperación exitosa de un archivo utilizando su CID correspondiente.

Esta etapa probó no solo la capacidad de la red para manejar cargas de datos críticos sino también la flexibilidad y eficiencia del sistema de almacenamiento descentralizado. La facilidad de uso de las GUIs y la fiabilidad del proceso de almacenamiento y recuperación de archivos destacan la labor realizada en la construcción de una interfaz de usuario intuitiva y un backend sólido.

9. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El proyecto DescentraCloud ha emergido como una solución innovadora en la integración de tecnologías blockchain, IPFS y Docker, demostrando su eficacia en el almacenamiento y compartición descentralizada de datos. Este enfoque no solo cumple con las necesidades actuales, sino que también establece una base sólida para futuras expansiones y mejoras.

Las pruebas iniciales en un entorno controlado, aunque limitadas en volumen de transacciones, han validado de manera convincente la capacidad técnica y la robustez de la arquitectura del proyecto. Estos resultados destacan cómo las decisiones de diseño pueden conducir a soluciones duraderas y adaptables a largo plazo.

Mirando hacia el futuro, DescentraCloud se centra en desafíos clave y oportunidades de refinamiento. El desarrollo de un mecanismo de consenso robusto y eficiente es prioritario para estructurar la toma de decisiones y garantizar la integridad y fiabilidad de la red. Esta iniciativa es esencial para la escalabilidad y la seguridad del sistema.

El proyecto también aborda la mejora de la flexibilidad mediante la exploración de la desvinculación de Node e IPFS. Esta adaptación permitirá una mejor integración en diversos entornos reales. Además, se trabajará en la optimización de los protocolos de comunicación para agilizar y estabilizar la transferencia de datos.

El refinamiento de los mecanismos de consenso y la optimización del sistema de recompensas son fundamentales para asegurar la seguridad, eficiencia y un entorno participativo en la red. Asimismo, el análisis detallado de la viabilidad económica y comercial de DescentraCloud orientará el proyecto hacia un éxito comercial sostenible.

Por último, la integración con otras tecnologías emergentes ampliará las capacidades de DescentraCloud, abriendo nuevas posibilidades para aplicaciones innovadoras y sinergias tecnológicas. La integración con tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial (IA),

el aprendizaje automático y el Internet de las Cosas (IoT), tiene el potencial de transformar radicalmente la forma en que DescentraCloud gestiona y procesa los datos.

En resumen, DescentraCloud ha marcado un avance notable en la exploración del almacenamiento de datos descentralizado, integrando con éxito las tecnologías blockchain, IPFS y Docker. Este proyecto ha demostrado la viabilidad de su enfoque al vincular estas tecnologías en un entorno controlado, ofreciendo soluciones eficientes y seguras para la gestión de datos.

A través de su implementación, DescentraCloud ha proporcionado valiosos conocimientos sobre los retos y oportunidades de una plataforma de almacenamiento de datos descentralizada. Los resultados obtenidos reflejan el potencial de esta integración tecnológica y su aplicabilidad en escenarios más amplios, más allá de las limitaciones de un entorno controlado.

Los aprendizajes y experiencias derivados de DescentraCloud ofrecen una base sólida para futuras investigaciones y desarrollos en el campo, destacando la importancia y el impacto de una sinergia efectiva entre tecnologías emergentes para el almacenamiento de datos descentralizado.

10. REFERENCIAS

- Asif, R., & Hassan, R. (2023). Shaping the future of Ethereum: exploring energy consumption in Proof of Stake vs Proof of Work. *Frontiers in Blockchain*, 6. <https://doi.org/10.3389/fbloc.2023.1151724>
- Chen, H., Luo, X., Shi, L., Cao, Y., & Zhang, Y. (2023). Security challenges and defense approaches for blockchain-based services from a full-stack architecture perspective. *Blockchain: Research and Applications*, 4(3), 100135. <https://doi.org/10.1016/j.bcra.2023.100135>
- Fairley, P. (2019). Ethereum will cut back its absurd energy use. *IEEE Spectrum*, 56, 29-32. <https://doi.org/10.1109/MSPEC.2019.8594790>
- Filecoin. (s.f.a). ¿Qué es Filecoin? Recuperado el 6 de octubre de 2023, de <https://docs.filecoin.io/basics/what-is-filecoin/>
- Goda, K., & Kitsuregawa, M. (2012). The history of storage systems. *Proceedings of the IEEE*, 100(Special Centennial Issue), 1433-1440. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2012.2189787>
- Motepalli, S., & Jacobsen, H.-A. (2021). Reward Mechanism for Blockchains Using Evolutionary Game Theory. *arXiv*, 2104.05849 [cs.GT]. <https://arxiv.org/abs/2104.05849>
- Pandian, D. A. P., & Smys, D. S. (2020). Effective fragmentation minimization by cloud-enabled backup storage. *Journal of Ubiquitous Computing and Communication Technologies*, 2(1), 1-9.
- Ren, Y., Liu, Y., Ji, S., Sangaiah, A. K., & Wang, J. (2018). Incentive Mechanism of Data Storage Based on Blockchain for Wireless Sensor Networks. *Mobile Information Systems*, 2018, 6874158. <https://doi.org/10.1155/2018/6874158>

- Sanjuan, H. (2022, 1 de julio). IPFS Cluster: scaling IPFS data storage. IPFS Blog & News. Recuperado de <https://blog.ipfs.io/2022-07-01-ipfs-cluster/>
- Wang, D., Jin, C., Li, H., & Perkowski, M. (2020). Proof of Activity Consensus Algorithm Based on Credit Reward Mechanism. En G. Wang, X. Lin, J. Hendler, W. Song, Z. Xu y G. Liu (Eds.), *Web Information Systems and Applications. WISA 2020. Lecture Notes in Computer Science* (vol. 12432, pág. 55). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-60029-7_55
- Wang, J., Chen, W., Ren, Y., Alfarraj, O., & Wang, L. (2020). Blockchain Based Data Storage Mechanism in Cyber Physical System. *Journal of Internet Technology*, 21(6), 1681-1689.
- Wang, J., Chen, W., Wang, L., Ren, Y., & Sherratt, R. S. (2020). Blockchain-based data storage mechanism for industrial Internet of things. *Intelligent Automation and Soft Computing*, 26(5), 1157-1172. ISSN 2326-005X

11. ANEXO A: REPOSITORIO EN GITHUB DE DESCENTRAACLOUD

El código fuente completo del proyecto DescentraCloud, incluyendo los scripts y módulos detallados en la sección de análisis de componentes, está almacenado y disponible para revisión en el repositorio de GitHub. Se puede acceder al repositorio a través del siguiente enlace:
<https://github.com/Luchoaa/Proyecto-Integrador-Final.git>

12. ANEXO B: DIAGRAMA UML DESCENTRA CLOUD

