



Desarrollo e implementación de smart contracts mediante una prueba de concepto para el seguimiento de instalaciones de fibra óptica en domicilios residenciales con el uso de tecnologías Blockchain.

Hernán Javier Aguilar Cruz

Informe de práctica empresarial, como requisito para optar por el título de Ingeniera de Sistemas

Asesores

Deisy Alejandra Mazo Velez

Diego Alexander Corredor Quintero

Universidad de Antioquia

Facultad de ingeniería

Ingeniería de sistemas

Medellín

2023

Cita	(Aguilar Cruz, 2023)
Referencia	Aguilar Cruz, H. J. (2023). <i>Desarrollo e implementación de smart contracts mediante una prueba de concepto para el seguimiento de instalaciones de fibra óptica en domicilios residenciales con el uso de tecnologías Blockchain</i> . Semestre de industria. Universidad de Antioquia, Medellín.
Estilo APA 7 (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Julio César Saldarriaga Molina.

Jefe departamento: Diego José Luis Botia Valderrama.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Dedicado a mi padre Ismael que descansa en el cielo, a mi madre Martha por su incondicional apoyo y a mi hermana Paola por estar ahí para mí.

Agradecimientos

A la Universidad de Antioquia por ser mi segunda casa, por todos los conocimientos adquiridos y por las nuevas experiencias.

A NTT Data por brindarme la oportunidad de realizar las prácticas académicas en su empresa, y hacerme sentir parte de la misma.

Tabla de contenido

Resumen	7
Abstract	8
Introducción	9
1 Objetivos	10
1.1 Objetivo general	10
1.2 Objetivos específicos	10
2 Marco teórico	11
3 Metodología	14
4 Resultados	20
5 Análisis	21
6 Conclusiones	23

Lista de figuras

Figura 1 – Pasos antes de la implementación de la prueba de concepto.	13
Figura 2 – Clasificación casos candidatos Blockchain	15
Figura 3 – Flujo de registro de HHPP	15
Figura 4 – Tecnologías utilizadas	16
Figura 5 – Arquitectura del proyecto	17
Figura 6 – Smart contract desarrollado en Remix IDE	17
Figura 7 – Cargar registros cosecha	18
Figura 8 – Registro de cosechas hogares pasados	18
Figura 9 – Direcciones registradas	19
Figura 10 – Detalles de una dirección	19
Figura 11 – Estado de una cosecha aprobada	23

Siglas, acrónimos y abreviaturas

NTT	Nippon Telegraph and Telephone.
EVM	Ethereum Virtual Machine
PoC	Proof of Concept
TI	Tecnologías de la Información
GCP	Google Cloud Platform

Resumen

Mediante el uso de tecnologías Blockchain y el desarrollo de smart contracts, se pretende crear un seguimiento que permita confirmar las instalaciones de fibra óptica en domicilios residenciales para una Telco en Colombia. Esto, con el objetivo de verificar a través de un ente descentralizado que la instalación se realizó de manera correcta, cumpliendo con los principios de seguridad, inmutabilidad, privacidad, entre otros. Lo anterior, se realiza a través de un equipo de trabajo, utilizando una metodología basada en Scrum, en la que se llevan a cabo reuniones diarias o daily meetings, así como entregas reproducibles para cada semana. Este proyecto se trata de una prueba de concepto (PoC) en la que se crea un prototipo de lo que sería la aplicación real, por lo que en caso de que este fuera aceptado, se plantearía su uso.

Palabras clave: Blockchain, PoC, smart contracts

Abstract

Through the use of Blockchain technologies and the development of smart contracts, it is intended to create a follow-up that allows confirming the optical fiber installations in residential homes for a telephone company in Colombia. This is for the purpose of verifying through a decentralized entity that an installation was done correctly, fulfilling with the principles of security, immutability, privacy, et cetera. This is done through a work team, using a methodology based on Scrum, where daily meetings are followed, as well as reproducible products for each week. This project is a proof of concept (PoC) where a prototype of what the real application would be is created, so if the project is accepted, then a real case use would be considered.

Keywords: Blockchain, PoC, smart contracts

Introducción

Desde el nacimiento de Bitcoin en 2009, se introduce una nueva perspectiva al intercambio de dinero electrónico peer to peer. Gracias a su llegada y después de estudios en relación con el tema, nace el concepto de Blockchain que luego tendrá cabida en implementaciones más específicas gracias a la red de Ethereum. Desde entonces, esta tecnología aporta soluciones en distintas industrias como la financiera, de salud, logística, bancaria, entre otras, siendo Blockchain la que toma el rol de validar transacciones y confirmar que la información con la que se trabaja es verídica (Wang et al., 2022). Debido a esto, también nace un paradigma empresarial que propone el uso de esta tecnología para aplicaciones descentralizadas, en muchos casos con el uso de contratos inteligentes u otras implementaciones, que permiten la creación de productos que serán desplegados, operados, consumidos y comercializados (Hamida et al., 2017) además de aportar un gran valor, ya que se pueden adaptar al modelo de negocio de cada empresa. Por este y otros motivos, NTT Data apuesta por el uso de tecnologías Blockchain en células y proyectos, ya que esta ofrece soluciones que incluyen integridad en la red, un poder distribuido, seguridad, privacidad, validación de información, entre otras. Para el caso del proyecto de la práctica empresarial, el objetivo es implementar la tecnología mediante smart contracts que verifiquen que una transacción fue hecha, y que esta quede registrada en la blockchain, para que sea inmutable.

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Implementar la tecnología Blockchain para la prueba de concepto de hogares pasados de una Telco a través de smart contracts utilizando Solidity, la integración de micro-frontends y microservicios sobre infraestructura Cloud.

1.2 Objetivos específicos

- Entender el planteamiento propuesto y el alcance de la prueba de concepto de trazabilidad de instalaciones de fibra óptica en domicilios residenciales.
- Investigar sobre el precio, la velocidad de las transacciones, la escalabilidad y viabilidad en el proyecto de redes basadas en EVM y otras máquinas virtuales.
- Desarrollar smart contracts en Solidity para ser adaptados en el proyecto.
- Desplegar un nodo local de LACChain para entender su funcionamiento con el despliegue y uso de smart contracts.
- Crear contenido educativo sobre las investigaciones realizadas para exponer en la célula de Blockchain de NTT Data, para la creación de un producto digital.
- Utilizar Hardhat para interactuar con el proyecto y los contratos inteligentes, de tal manera que la información registrada quede en la red Blockchain.

2 Marco teórico

Las tecnologías Blockchain y en específico los smart contracts, son conceptos que han sido tema de debate en distintas industrias, debido a que su implementación genera duda al ser una tecnología tan reciente. Desde su creación, estos han intentado adaptarse a las herramientas de desarrollo y a las nuevas soluciones tecnológicas, para que de esta forma las empresas puedan explorar cómo pueden ser utilizados en sus desarrollos empresariales (Ciatto et al., 2020). El uso de los smart contracts propone una pieza de código para ser ejecutada en una Blockchain, de tal manera que las transacciones que sean realizadas en el mismo, sean inmutables y puedan ser verificadas en cualquier momento. Sin embargo, la manera de escribir, desplegar y visualizar un contrato inteligente puede cambiar dependiendo de la red a utilizar.

Existen redes “permissionadas” donde se tiene un control de las personas que interactúan en la red mediante una lista y un control de permisos; no se necesita un token nativo, el acceso a cualquier transacción es privado y cuenta con un mantenimiento económico distinto. Como un ejemplo de estas se encuentra Hyperledger Fabric., luego, están las redes “públicas” donde cualquier persona puede participar, se pueden consultar las transacciones de manera abierta y existe un token, como lo puede ser la red de Ethereum (Ciatto et al., 2020).

La elección de una de estas alternativas conlleva al estudio del problema evaluando la calidad de la red, la cantidad de transacciones a trabajar, los recursos con los que se cuenta, la velocidad de la blockchain, o incluso si en realidad se necesita de esta tecnología. La decisión se basa en las necesidades que la aplicación TI necesite en relación a los sistemas tradicionales de tecnologías, comparando características de Blockchain como descentralización, transparencia e inmutabilidad de los datos, una capa criptográfica, distribución de datos (Madhoun et al., 2021). Si bien conlleva de un trabajo de investigación y necesita de expertos, una vez tomada la decisión de utilizar Blockchain, el nuevo reto se centra en cuál red se pueden presentar mejor las soluciones.

Para el caso de las prácticas académicas, se necesita determinar la Blockchain con la que se va a trabajar. Esto significa que se deben evaluar tópicos como la categoría a la que pertenece la solución (Gestión de datos, financiera, verificación de la información), el caso de uso dentro de la misma como lo puede ser gestión de contratos, identidad de la información, cloud storage, monitoreo de datos, votaciones, lotería, entre muchas otras (Zile & Strazdiņa, 2018). De esta manera, se puede hacer una idea de lo que se necesita para empezar a crear un smart contract. Estos contratos, para la prueba de concepto, serán desarrollados en Solidity, lo que significa que

se utilizará la EVM o la Ethereum Virtual Machine. Para la EVM, es necesario conocer conceptos como el Gas y el Fee, ya que ambos son dinero y si se trabaja con un gran número de transacciones, podría significar que el precio de despliegue crezca de manera considerable (Zou et al., 2019). Aunque se crea que la EVM está disponible sólo para Ethereum, existen distintas soluciones Blockchain que trabajan en la misma y que son más rentables, ya que son más rápidas y de bajo costo. Sin embargo, ¿cómo implementarla? hace parte de igual manera del proceso, ya que en este punto se define si solamente se necesita de la validación de una Blockchain que pueda verificar los datos tratados o una aplicación descentralizada que haga uso de tecnologías como Web3. Para el caso de la prueba de concepto con una Telco en Colombia, se tiene un desarrollo back-end y front-end en conjunto, donde se incluye el uso de un smart contract al momento de confirmar una transacción, con el objetivo de que quede registrado en la Blockchain. Si bien no se trata de una aplicación descentralizada en sí, hace uso de la tecnología para llegar a su solución.

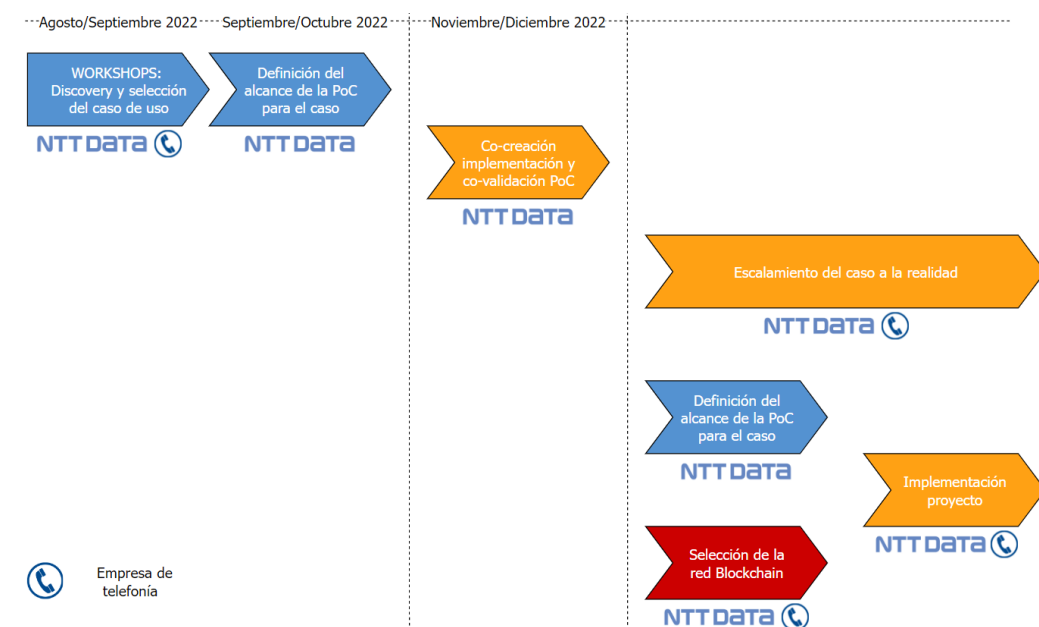
La razón por la que se incluye Blockchain al proyecto, es debido a que se desea dejar constancia de los registros previamente realizados y que esta información no pueda ser modificada. Si bien existen soluciones que cumplan este papel, se elige esta tecnología debido a su transparencia, confiabilidad, seguridad e inmutabilidad. (Golosova & Romanovs, 2018). En virtud de las características, Blockchain es atractiva para compañías y bancos comerciales, gracias a que las aplicaciones realizadas en estas, almacenan copias de manera simultánea en distintos sitios y no es posible cambiar un valor sin dejar evidencia, gracias al protocolo de consenso. (Vovchenko et al., 2017).

3 Metodología

El nombre del proyecto en el que realicé las prácticas es “Pruebas de Concepto de hogares pasados con Blockchain para una Telco en Colombia”. Se ha trabajado con una metodología basada en Scrum donde cada integrante cuenta con un conjunto de tareas y mediante reuniones diarias cortas o “daily meetings” se informa el progreso individual en las tareas pendientes, se menciona si han existido inconvenientes en alguna parte del proceso y se asignan nuevas tareas en caso de que se hayan cumplido las anteriores. Se trabaja mediante repositorios de github para las versiones del proyecto en repositorio de la empresa, donde cada integrante sube sus aportes.

Dentro de la empresa se cuenta con expertos en el tema Blockchain, que aportaron dentro de esta PoC, junto con mis conocimientos. Para poder realizar la implementación se necesita un estudio previo, evaluando distintos casos de uso y encontrar el más viable, que pueda ofrecer un valor alto para ser desarrollado, poniendo en consideración los factores que pueda llevar (velocidad, costos, etc). Para encontrar estos casos de uso, se habla con los clientes de NTT Data para encontrar problemáticas a resolver que puedan hacer uso de la tecnología Blockchain. Para lo anterior, se realizan workshops con el objetivo de explicar a los clientes el uso de la tecnología, su importancia y cuál podría ser su valor dentro de un proyecto. Una vez hecho esto, se define cuál podría ser el caso, el alcance del mismo y se inicia la selección de la red Blockchain para llevar a cabo la implementación.

Figura 1 – Pasos antes de la implementación de la prueba de concepto.

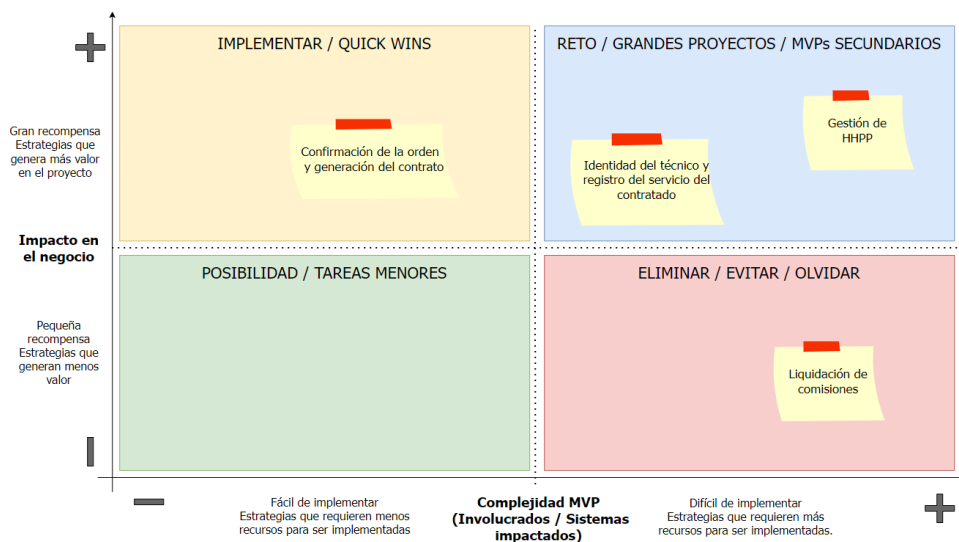


Dentro de la búsqueda del caso de uso de la implementación Blockchain para una prueba de concepto, existen dos parámetros importantes puestos a consideración por la empresa: Impacto en el negocio y la complejidad. El objetivo es poder elegir un candidato que cumpla con estos requisitos, ofreciendo un nivel de complejidad alto para que el proyecto signifique un reto, utilizando distintas tecnologías para crear una solución con un mayor grado de dificultad (que pueda ser escalable a un caso de uso real si la PoC llega a ser aceptada) y a su vez que genere un gran impacto de negocio en términos de lo que puede aportar la solución a la empresa.

Los resultados muestran que de las opciones con las que contaba NTT Data, el caso de gestión de instalación de fibra óptica (HHPP) con una empresa de telefonía en Colombia era la más llamativa, ya que tiene un gran impacto en el negocio al eliminar la desconfianza entre distintas entidades. A su vez, la PoC permitiría evitar retrasos al recopilar información de instalación de puntos de fibra, entre otros factores. Para la complejidad, en esta implementación no solo se utilizan las tecnologías Blockchain para el desarrollo de la misma, sino que necesita para su flujo completo, un sistema de información que se encargue de la centralización de evidencias, mediante una página que permita realizar estas acciones.

Es importante resaltar, que para el caso de esta empresa de telefonía, las direcciones mes a mes de los lugares de instalación de fibra se llevan mediante hojas de cálculo en excel, compartidas mediante carpetas o correos electrónicos, en las que se encuentran distintas personas de diferentes empresas utilizando esta información. No se tiene registro de si esta se altera, se elimina, o se pierde debido a factores humanos, por lo que la tecnología Blockchain para nuestro caso de uso va a controlar este aspecto.

Figura 2 – Clasificación casos candidatos Blockchain

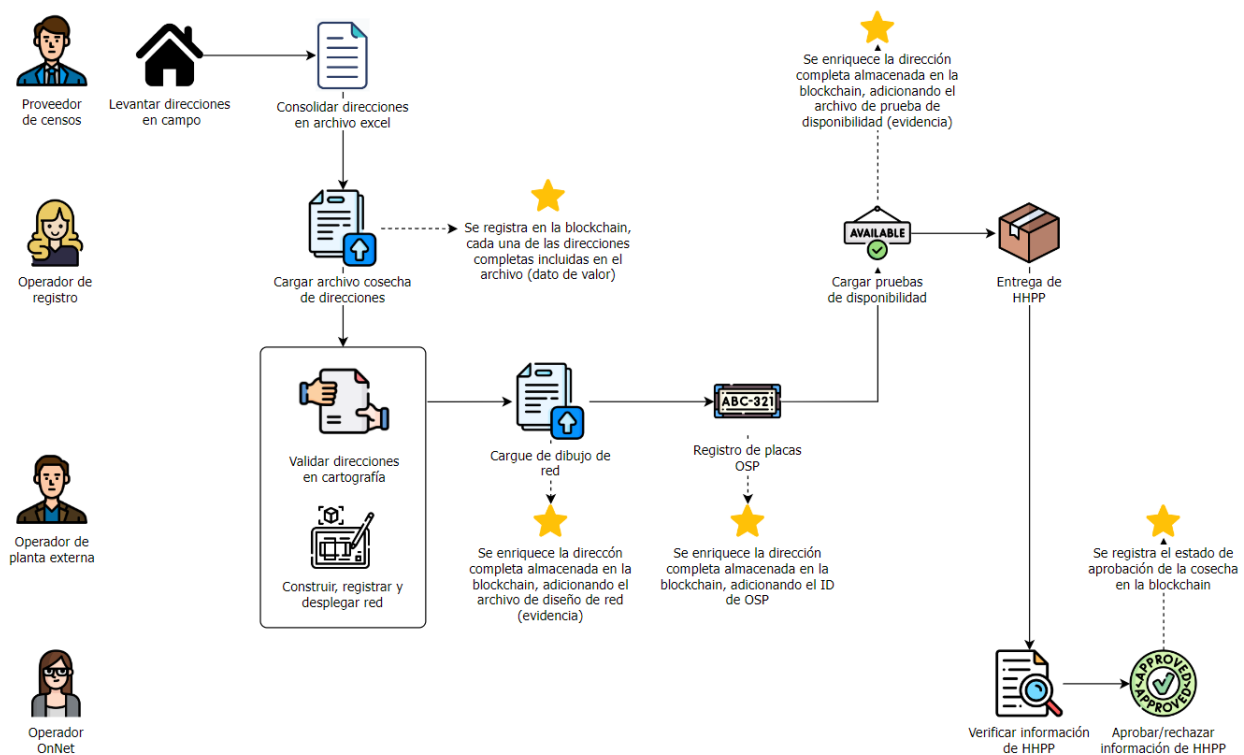


4 Resultados

Una vez se identifica que el activo digital que se necesita proteger y custodiar son las direcciones que se están manejando, se crea un flujo alrededor de estas para poder confirmar que el uso de Blockchain permite trabajar con este tipo de información, garantizando que si se modifica esto pueda ser reconocible, al igual que si se elimina algún tipo de información.

El flujo de registro de HHPP es una aplicación que permite capturar la información de múltiples direcciones en un archivo de excel, cargarla en la página y registrarla en la Blockchain para poder garantizar que ésta no va a ser modificada. Así mismo, se hace un registro de una dirección y se crea un historial para conocer las modificaciones, si se realizó una instalación, si hubo un problema, si se alteró la dirección, etc. Esto último, para contar con un historial completo de las direcciones y que la información de estas pueda moverse entre las distintas empresas que deseen obtener la información.

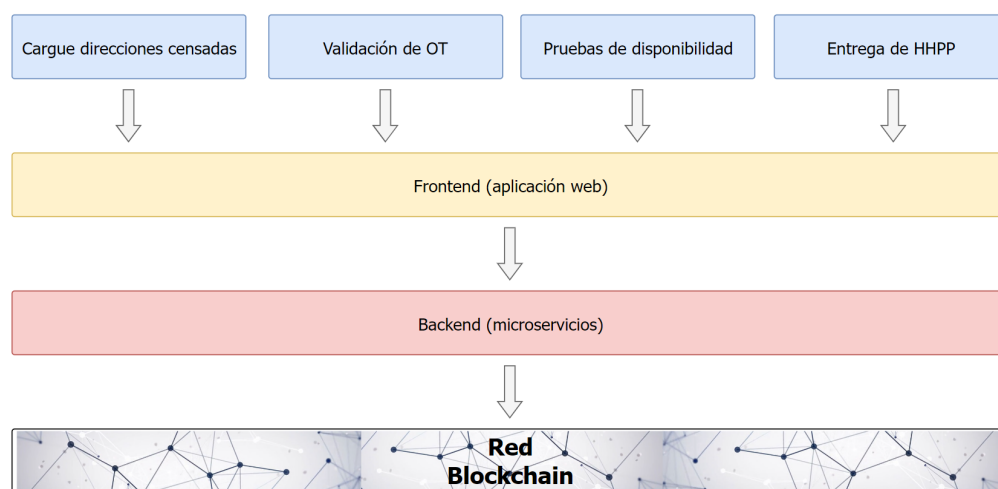
Figura 3 – Flujo de registro de HHPP



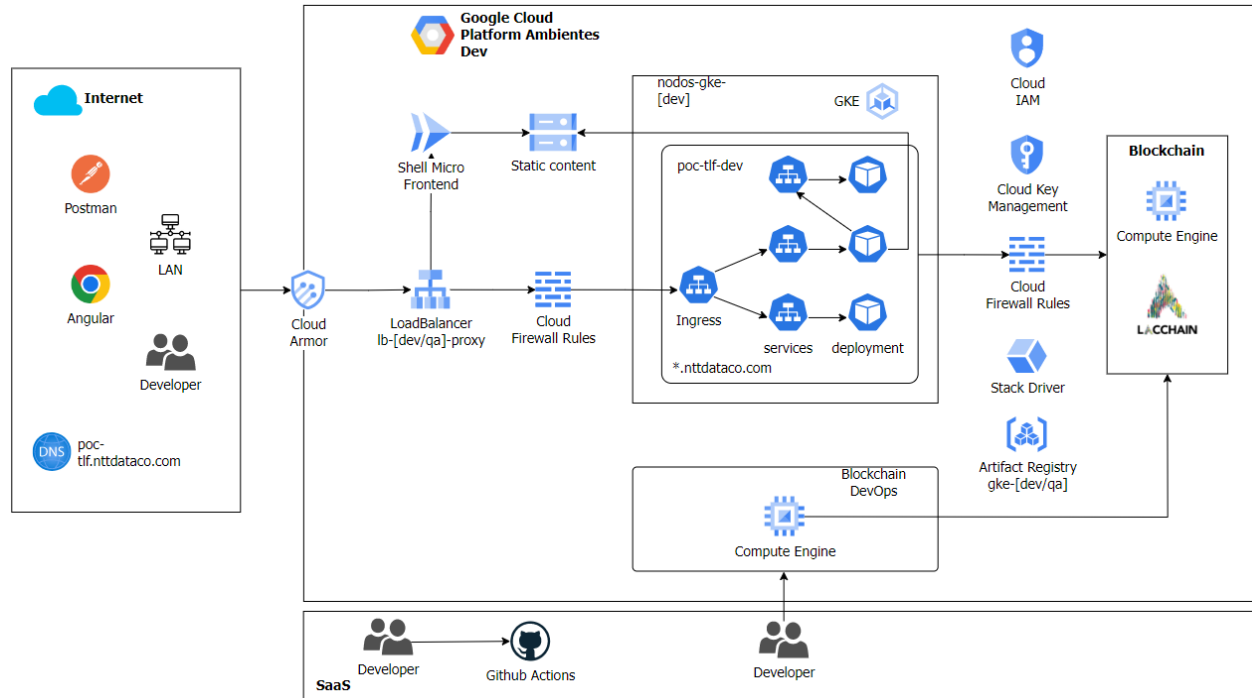
Para poder llevar a cabo el flujo de trabajo del registro de HHPP, es necesario construir una aplicación con distintas tecnologías. Se cuenta con una aplicación web desarrollada en Angular desplegada sobre la infraestructura Google Cloud Platform (GCP), en donde se puede realizar el registro de hogares pasados, así como la consulta de estos. Junto con la aplicación web, se tiene una capa de microservicios creados en Java utilizando el framework Spring Boot, el cual se hace cargo de realizar los registros, consultas, almacenamiento, además de interactuar con los contratos inteligentes de la Blockchain.

Finalmente, se encuentra la capa de la red Blockchain, que cuenta con un nodo en la testnet de la red de LACChain y fue desplegado en infraestructura GCP. En este se puede ver la funcionalidad de la tecnología, al tener la trazabilidad de las direcciones, mediante la información de las mismas en la red.

Figura 4 – *Tecnologías utilizadas*



Como propuesta de la solución de la **Figura 3**, se propone una arquitectura que cuente con el uso de DevOps y Google Cloud Platform, para desarrollar el proyecto mediante un repositorio de GitHub empresarial, donde cada miembro del equipo realiza sus aportes correspondientes. Se hace la elección del nodo de LACChain, ya que la empresa de telefonía maneja una gran cantidad de transacciones (más de 100000 al mes) y realizando un estudio sobre las redes más utilizadas; estas representan un valor no asequible para un caso real, mientras que LACChain cuenta con planes ajustados al presupuesto, ofreciendo la misma calidad en términos de servicio. Este nodo, como se puede ver en la **Figura 4**, está desplegado en una máquina virtual de Google Cloud, corriendo todo el tiempo para registrar transacciones.

Figura 5 – *Arquitectura del proyecto*

Para el smart contract, éste fue desarrollado en Solidity, utilizando el IDE de Remix para desplegar el mismo y probar que funcionara de manera correcta mediante redes de prueba, para que una vez esté listo, se pueda utilizar dentro del proyecto.

Figura 6 – *Smart contract desarrollado en Remix IDE*

```
// SPDX-License-Identifier: GPL-3.0

pragma solidity >=0.7.0 <0.9.0;

contract AddressManager {

    // Private state variable
    address private owner;

    // Defining a constructor
    constructor() {
        owner = msg.sender;
    }

    modifier onlyOwner(){
        require(msg.sender == owner);
        _;
    }

    enum State {
        CREATED,
        PENDING,
        ERROR,
        COMPLETED,
        APPROVED,
        REJECTED
    }
}
```

Es posible realizar el contrato en Solidity gracias a que LACChain es compatible con la EVM (Ethereum Virtual Machine), lo que a su vez significa que al momento de ser desplegado este contrato en el nodo de la testnet tampoco existen inconvenientes.

Para demostrar el funcionamiento de la aplicación, se carga la página de home en la que se puede subir un archivo excel con las direcciones y guardarlo.

Figura 7 – Cargar registros cosecha

The screenshot shows a web interface with a header containing three user roles: OPERADOR REGISTRO, OPERADOR PLANTA, and ALIADO ON-NET. The main content area features a central form titled 'CARGAR REGISTROS COSECHA'. The form has the following elements:

- ID COSECHA:** A text input field.
- FECHA DE REGISTRO:** A date picker showing 'dd/mm/aaaa'.
- COMPILADO DIRECCIONES:** A section with a file upload button labeled 'Elegir archivos' and a status message 'Sin archivos seleccionados'.
- Buttons:** Two blue buttons at the bottom, 'GUARDAR' and 'BORRAR'.

Se hace el registro y aparece una confirmación en pantalla. Luego, se puede consultar el registro.

Figura 8 – Registro de cosechas hogares pasados

The screenshot displays a table titled 'REGISTRO DE COSECHAS HOGARES PASADOS'. The table has the following structure:

ID COSECHA	FECHA REGISTRO	ESTADO PROCESO	OPERACIONES
OT-00324812	2023-01-30	ACEPTADO	[Icons]
OT-00345765	2023-01-30	PROCESADO	[Icons]
OT-00354123	2023-01-30	ACEPTADO	[Icons]
OT-00344667	2023-01-30	ACEPTADO	[Icons]
OT-00344668	2023-01-31	ACEPTADO	[Icons]
OT-00344669	2023-01-31	PROCESADO	[Icons]
OT-00344669	2023-01-31	ACEPTADO	[Icons]
OT-354124	2023-02-03	PROCESADO	[Icons]
OT-00324885	2023-02-08	PROCESADO	[Icons]
OT-00344670	2023-02-09	ACEPTADO	[Icons]
OT-00344791	2023-02-09	ACEPTADO	[Icons]
OT-00844543	2023-02-23	INICIAL	[Icons]

La información que se muestra está en una base de datos, el papel de Blockchain entonces es confirmar que esta es verídica, comparando el hash de lo que se tiene registrado en la base de datos con la red. En caso tal de no serlo, aparecerá un símbolo rojo en la columna de “Verificada Blockchain”.

Figura 9 – Direcciones registradas

CLUSTER	LOCALIDAD	BARRIO	UBICACIÓN	ID OSP	DISPONIBILIDAD FIBRA	VERIFICADA BLOCKCHAIN	DETALLES
CLUST_001	BOGOTA	MAZUREN	KR 54A - KR 54A - 35	CCOSP-68548000	Negativo	✓	
CLUST_002	BUARAMANGA	LA CONCORDIA	CL 47B - CL 47A - 50	CCOSP-13067900	Positivo	✗	

Anterior 1 Siguiente

Archivo Censos Archivo CAD

También es posible consultar la información de una dirección si así se desea, eligiendo la pestaña de detalles.

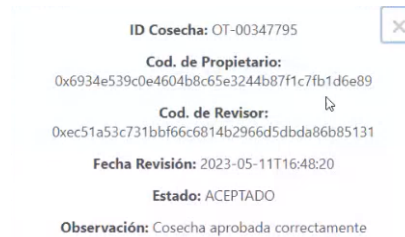
Figura 10 – Detalles de una dirección

CLUSTER	SUBCLUSTER	CTO OSP	DIRECCION COMPILADA
CLUST_001	SUB_001	CCOSP-68548000	KR 54A - KR 54A - 35

LOCALIDAD	BARRIO	IDENTIFICADOR	NÚMERO	LETRA
BOGOTA	MAZUREN	KR	34	A
AGREGADO	LETRA 2	IDENTIFICADOR 2	NÚMERO 2	CUADRANTE
AG1	A	KR	54	CD1
LONGITUD	LATITUD	NOMBRE PREDIO		
-74.0320437	4.7266957	CENTRO COMERCIAL CARMEL		

Es posible reflejar el uso de Blockchain al consultar quién fue la persona que subió el archivo excel, o la dirección del revisor que aceptó que las direcciones estaban correctas.

Figura 11 – *Estado de una cosecha aprobada*



Si se desea revisar detalladamente la dirección de la aprobación de cierta dirección, se podría hacer mediante el blockscout con el que cuenta LACChain, copiando y pegando la dirección de la transacción.

5 Análisis

Identificar el activo digital de una compañía y lograr impulsar el mismo mediante su protección, vigilancia, e innovación, es de suma importancia para el progreso de una empresa. El uso de Blockchain para manejar la trazabilidad de estos activos ofrece seguridad al comparar la información que existe con la que hay en la red, transparencia ya que en la red se pueden ver reflejadas las transacciones sin que estas puedan ser modificadas a futuro, además de documentar el paso a paso del recorrido de un activo creando de esta manera una pista o historial de los mismos.

Este proyecto de prueba de concepto realizado en NTT Data es una PoC para, en caso de ser aceptado, continuar con el desarrollo del mismo implementando nuevas funcionalidades, logrando mejorar la seguridad de la aplicación, un sistema de autenticación, entre otros. Sin embargo, lo que se quería demostrar es que sí es posible lograr un guardar el activo de valor de la compañía de telefonía, en este caso las direcciones, mediante el uso de tecnologías Blockchain, ya que como se vió en la demostración se prueba que es posible realizar un registro de las direcciones y verificar si existe un cambio dentro de estas para poder ser notificado.

6 Conclusiones

- En el desarrollo del trabajo se logró evidenciar la importancia del uso de las tecnologías Blockchain, sin embargo, también es de destacar que éstas no pueden ser utilizadas en todos los escenarios, ya que hay escenarios que requieren de la validación de la información en cuestión de segundos y en muchas redes esto no es posible, debido al tiempo que puede tomar una transacción al ser validada en la red.
- La investigación de la red fue de suma importancia para el funcionamiento del proyecto, ya que se logró encontrar una red que fuese capaz de soportar un gran número de transacciones al mes sin ser necesario el uso de grandes cantidades de dinero por estas. Con el análisis realizado, también se evidencia que para casos de uso en los que se necesiten muchas transacciones, las redes más típicas como Ethereum, Polygon, Polkadot, etc, no serían viables debido al alto coste que tendrían, por lo que sería mejor elegir una red que ofrezca planes acordes a lo que se necesita.
- Poder entender cómo funcionan los roles dentro de una empresa como lo es NTT Data y dentro de un equipo de trabajo que está encargado de un proyecto, es fundamental para la experiencia de un futuro profesional que quiere comenzar dentro de la industria.
- Las pruebas de concepto son esenciales para proyectos que están inicialmente planteados y que se quiera ver de ellos una implementación pequeña para luego ser aprobada, como lo es el caso expuesto.
- Los conocimientos en materia de Blockchain han aumentado gracias al proyecto, además de la célula de conocimiento con la que cuenta la empresa. A su vez, el trabajo en equipo dentro de la PoC afianza los conocimientos universitarios, ya que se evidencia un desarrollo en conjunto de distintas capas como la de front y la de back, así como el uso de GCP y otras tecnologías que lograban un despliegue correcto de la aplicación.

Referencias

- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. *Decentralized business review*, 21260.
- Li, X., Wang, X., Kong, T., Zheng, J., & Luo, M. (2022, February). From bitcoin to solana—innovating blockchain towards enterprise applications. In *Blockchain–ICBC 2021: 4th International Conference, Held as Part of the Services Conference Federation, SCF 2021, Virtual Event, December 10–14, 2021, Proceedings* (pp. 74-100). Cham: Springer International Publishing.
- Hamida, E. B., Brousmiche, K. L., Levard, H., & Thea, E. (2017, July). Blockchain for enterprise: overview, opportunities and challenges. In *The Thirteenth International Conference on Wireless and Mobile Communications (ICWMC 2017)*.
- Ciatto, G., Mariani, S., Maffi, A., & Omicini, A. (2020). Blockchain-based coordination: Assessing the expressive power of smart contracts. *Information*, 11(1), 52.
- El Madhoun, N., Hatin, J., & Bertin, E. (2021). A decision tree for building IT applications: What to choose: blockchain or classical systems?. *Annals of Telecommunications*, 76, 131-144.
- Zile, K., & Strazdiņa, R. (2018). Blockchain Use Cases and Their Feasibility. *Applied Computer Systems*, 23 (1), 12–20.
- Zou, W., Lo, D., Kochhar, P. S., Le, X. B. D., Xia, X., Feng, Y., ... & Xu, B. (2019). Smart contract development: Challenges and opportunities. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 47(10), 2084-2106.
- Golosova, J., & Romanovs, A. (2018, November). The advantages and disadvantages of the blockchain technology. In *2018 IEEE 6th workshop on advances in information, electronic and electrical engineering (AIEEE)* (pp. 1-6). IEEE.
- Vovchenko, N. G., Andreeva, A. V., Orobinskiy, A. S., & Filippov, Y. M. (2017). Competitive advantages of financial transactions on the basis of the blockchain technology in digital economy. *European Research Studies*, 20(3B), 193.