

Trabajo de Fin de Grado

Grado en Ingeniería Informática

Prototipo Blockchain para el Libro del Edificio en el ámbito del Registro de la Propiedad

*Blockchain prototype for the Building Ledger in the
field of Land Registry*

Adrián Emilio Padilla Rojas

La Laguna, 7 de junio de 2022

D. **José Luis Roda García**, con N.I.F. 43.356.123-L profesor Titular de Universidad adscrito al Departamento de Ingeniería Informática y de Sistemas de la Universidad de La Laguna, como tutor

D. **Benito José Cuesta Viera**, con N.I.F. 43.818.241-K adscrito al Servicio de Informática de la Universidad de La Laguna, como cotutor

C E R T I F I C A (N)

Que la presente memoria titulada:

“Prototipo Blockchain para el Libro del Edificio en el ámbito del Registro de la Propiedad”

ha sido realizada bajo su dirección por D. **Adrián Emilio Padilla Rojas**,
con N.I.F. 43.491.124-X.

Y para que así conste, en cumplimiento de la legislación vigente y a los efectos oportunos firman la presente en La Laguna a 7 de junio de 2022

Agradecimientos

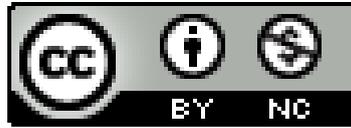
Comienzo con José Luis Roda, por todos los conocimientos brindados sobre la gestión de proyectos, así como referencias a múltiples recursos que posibilitaron la información para la redacción de este documento.

Prosigo con Benito José Cuesta, que ha aportado su experiencia en el campo del *blockchain*, así como ha puesto a mi disposición multitud de recursos para facilitarme el trabajo que suponía la parte práctica del mismo.

También a Julio Antonio Brito y María Elena Sánchez, por apoyar el proyecto aportando ideas y conocimientos.

Por último agradecer a Carlos Tocino, en representación del Colegio de Registradores, por interesarse en el trabajo, apoyarlo con la información que disponía y aportar un caso de uso real.

Licencia



© Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

Resumen

En la sociedad actual, la tecnología blockchain es un tema que se encuentra en boca de todos, ya sea por motivos desfavorables (consumo energético, especulación de criptomonedas, ...), como favorables (seguridad, descentralización de la información, ...).

Algo indiscutible es su origen ligado a las monedas electrónicas, no obstante, no es el único ámbito donde tiene cabida, ya que supone una revolución en diferentes campos como la medicina, el automovilismo, las entidades bancarias, etc.

La investigación en el contexto del Registro de la Propiedad mediante el uso de blockchain surge de la necesidad de innovación, digitalización y automatización de procesos que, actualmente, requieren de muchos trámites burocráticos y gastos económicos. El objetivo, por tanto, es determinar si mediante el empleo de esta tecnología se pueden resolver los problemas nombrados.

Adicionalmente, la tecnología blockchain supone una revolución en el ámbito de almacenamiento, custodia, protección y trazabilidad de los datos. Por ello, desde el Colegio de Registradores, se propone hacer uso de esta para el depósito y gestión del libro del edificio, cumpliendo con la regulación legal comprendida en el artículo 7 de la Ley de Ordenación de la Edificación y con el artículo 202 de la Ley Hipotecaria. Además, se obtiene como beneficio la mejora respecto a la disposición de los libros requeridos por los terceros, siempre con una comprobación previa del interés legítimo del solicitante por parte del registrador.

Palabras clave: **Blockchain, Registro de la Propiedad, Colegio de Registradores, Libro del Edificio**

Abstract

In today's society, blockchain technology is a topic on everyone's lips, whether for unfavorable (energy consumption, cryptocurrency speculation, ...) or favorable (security, decentralization of information, ...) reasons.

It's origin is indisputably linked to electronic currencies, however, it is not the only field where it could have a place, as it could revolutionize a host of different fields such as medicine, automobiles, banking, etc.

The research in context of the Land Registry using blockchain arises from the need for innovation, digitization and automation of processes that currently require a lot of bureaucratic procedures and economic expense. The objective, therefore, is to determine whether by using this technology the above mentioned problems can be solved.

Additionally, blockchain technology represents a revolution in the field of storage, custody, protection and traceability of data. Therefore, from the Association of Registrars, it is proposed to make use of it for the deposit and management of the Building Book, complying with the legal regulation included in Article 7 of the Law of Building Management and Article 202 of the Mortgage Law. In addition, the benefit is the improvement in the availability of the books required by third parties, always with a prior verification of the legitimate interest of the applicant by the registrar.

Keywords: Blockchain, Land Registry, Association of Registrars, Building Book

Índice general

Capítulo 1. Introducción	11
Capítulo 2. Estado del Arte	14
2.1 Blockchain en el Registro de la Propiedad	14
2.2 Blockchain en el Libro del Edificio	15
Capítulo 3. Tecnología Blockchain	18
3.1 Características generales	18
3.2 Blockchain Pública	20
3.3 Blockchain Privada	21
3.4 Smart Contracts	22
Capítulo 4. Desarrollo del B3	23
4.1 B3	23
4.2 Participantes	24
4.2.1 Arquitecto	25
4.2.2 Registrador	25
4.2.3 Usuario externo	25
4.3 Red Privada de Ejemplo	26
4.4 Smart Contracts	27
4.4.1 Contrato Libro del Edificio	27
4.4.2 Contrato Peticiones	29
4.5 API REST	31
4.5.1 Conexión con Blockchain	31
4.5.2 Endpoints	31
4.5.3 Seguridad	33
4.6 Flujo de la Aplicación	33
4.7 Frontend	34

Capítulo 5. Conclusiones y líneas futuras	37
5.1 Conclusiones	37
5.2 Líneas Futuras	38
Capítulo 6. Summary and Conclusions	40
6.1 Conclusions	40
6.2 Future Works	41
Capítulo 7. Presupuesto	43
7.1 Tabla de Elementos Implicados en el Sistema	43
7.2 Presupuesto del Proyecto	44
Bibliografía	46

Índice de figuras

Figura 1. Esquema de las transacciones de la aplicación.	23
Figura 2. Intervención de usuarios en el prototipo de la aplicación.	25
Figura 3. Asignación organización 1. Rol Arquitecto.	26
Figura 4. Asignación organización 2. Roles Registrador y usuario externo.	26
Figura 5. Ejemplo de creación de un nuevo Libro del Edificio.	29
Figura 6. Ejemplo de creación de una nueva petición.	30
Figura 7. Endpoint de ejemplo.	32
Figura 8. Flujo de peticiones.	33
Figura 9. Página de inicio de sesión.	34
Figura 10. Vista del Arquitecto.	35
Figura 11. Vista del Registrador.	35
Figura 12. Vista del usuario externo.	36

Índice de tablas

Tabla 1. Elementos implicados en el sistema	43
Tabla 2. Presupuesto del proyecto.	44

Capítulo 1. Introducción

Conviene comenzar esta introducción explicando qué es el Colegio de Registradores, ya que se trata del principal interesado en llevar a cabo este trabajo. Podría ser descrito como una organización independiente de estructura abierta y carácter internacional que reúne a instituciones académicas y profesionales que, de alguna manera, estén relacionados con la especialidad del Derecho Inmobiliario Registral [1].

Una de las áreas que abarca el Colegio de Registradores es el Registro de la Propiedad, y entre sus funciones se encuentra el registro del Libro del Edificio que será el tema que nos va a ocupar en este proyecto. Se trata de un conjunto de documentos gráficos y escritos que constituyen el archivo y registro del historial e incidencias técnicas, jurídicas y administrativas de un edificio. Además, contiene los siguientes documentos: el proyecto (memoria, los planos, el presupuesto, etc), el acta de recepción de la obra del edificio, la relación de los agentes participantes y las instrucciones de uso y mantenimiento [2].

Son múltiples los beneficios que ofrece blockchain en el ámbito del mantenimiento y registro de dicho libro, entre los que podemos destacar una mejora en el almacenamiento, custodia, protección y trazabilidad de los datos, además de la digitalización y automatización de procesos que actualmente requieren de grandes trámites burocráticos y gastos económicos.

Pero también existen limitaciones a su uso debido principalmente a las actuales leyes reguladoras. Por ejemplo, quién es propietario de un inmueble y tiene cargas hipotecarias, está avalado por el Registro dando seguridad jurídica; en la blockchain al estar descentralizado ese registro en varios responsables, no da esa protección jurídica.

Es por todo lo comentado, el interés que suscita la tecnología blockchain en el Colegio de Registradores para la aplicación en sus diferentes campos.

Hasta el momento, el Colegio de Registradores ha propuesto tres casos de uso principales para comprobar la viabilidad de blockchain, estos son: el depósito y gestión del Libro del Edificio, la llevanza del Libro Registro de Socios y la llevanza del Libro de Actas

de la Comunidad de Propietarios. El desarrollo de prototipos que abarquen estos casos de uso, les proporcionará un mayor conocimiento en la posible aplicación de blockchain en los procesos registrales. Estos conocimientos no solo deberían ser técnicos sino de visión de cambios en las leyes para una adecuada utilización y aprovechamiento del blockchain.

Algo que debe quedar claro, como menciona Andrea Martín Meneses en su Trabajo Final de Grado sobre el “Registro de la Propiedad e implicaciones en materia probatoria” [3], es que *blockchain bajo ningún concepto será aplicado de tal forma que suponga una sustitución del Registro de la Propiedad, sino como un complemento a esta institución.*

Y es que España no es el único país que está interesado en comprobar la viabilidad de blockchain en el Registro de la Propiedad. Tenemos otros países como Japón, Suecia, Reino Unido, Australia, Brasil, Georgia, Ghana, Dubai, India y México, que tienen este mismo objetivo [4].

La idea principal está constituida por la viabilidad y potencia que puede llegar a desempeñar blockchain, dentro del ámbito del Registro de la Propiedad, en el caso del Libro del Edificio, debido a su transparencia, confidencialidad e integridad de los datos. Esto supone una gran comodidad a todas las partes implicadas (Arquitectos, Registradores y terceras partes interesadas), ya que la propia tecnología es la que se encargaría en actuar como intermediaria entre las decisiones que decidan tomar los distintos usuarios, siendo la propia red la encargada de gestionar la seguridad del trámite.

En esta iniciativa han colaborado tanto la Universidad de La Laguna como el Colegio de Registradores, siendo ésta última la entidad interesada en la comprobación de la viabilidad de esta tecnología. La consecuencia de esta vinculación queda reflejada en este Trabajo de Final de Grado. El equipo de trabajo desde la universidad está conformado por: José Luis Roda (tutor); Benito José Cuesta (cotutor); Julio Antonio Brito (apoyo); María Elena Sánchez (apoyo) y Adrián Emilio Padilla (alumno realizando el TFG). Por parte del Colegio de los Registradores tenemos a Carlos Tocino (Registrador). Este grupo se ha encargado de elaborar la estructura de requisitos para el desarrollo del sistema y la formalización del alcance que debía abordarse con el desarrollo del prototipo, tomándose como referencia un ejemplo real.

Por último, me gustaría mencionar la estructura que tomarán los capítulos dispuestos en este documento:

El segundo capítulo nos aportará el estado del arte tanto en el ámbito del Registro de la Propiedad así como de su uso en el Libro del Edificio.

El tercer capítulo consistirá en una introducción al blockchain donde serán descritas sus características principales.

En el cuarto capítulo se profundizará en la aplicación desarrollada.

Con respecto al quinto capítulo se encargará de mencionar las conclusiones a las que se ha llegado con el desarrollo del proyecto, así como las líneas de actuación que se deben de tomar en un futuro.

Se finalizará mostrando el presupuesto estimado del proyecto.

Capítulo 2. Estado del Arte

2.1 Blockchain en el Registro de la Propiedad

Blockchain es una tecnología que posee ciertos problemas para ser adaptada al ámbito del Registro de la Propiedad. Esto es debido a numerosas leyes existentes que impiden su adopción directa en el sistema Español. Como se comentaba anteriormente, su potencial es obvio, permitiendo por ejemplo, que el procedimiento de publicidad de un determinado libro pueda ser automatizado de manera ágil y segura. Por tanto, es conveniente tener en cuenta esta tecnología, no para sustituir a la institución, sino más bien para emplearla como una extensión de la misma.

Quizás algunas de las normativas vigentes sean modificadas en un futuro cercano, permitiendo sacarle el máximo potencial a esta tecnología, y por ello que se están desarrollando una serie de proyectos pilotos. Actualmente en España [5] se encuentran trabajando conjuntamente el Colegio de Registradores con la asociación Alastria, con el fin de remodelar el sistema actual para agilizar la gestión de millones de documentos que son tramitados por el Colegio.

Nuestro país no es el único que trata de comprobar la viabilidad de blockchain como herramienta para emplear en el Registro de la Propiedad. Tenemos el caso de Suecia [6], que ya se encuentra trabajando en su segundo proyecto de estas características, centrándose en construir y probar esta tecnología y comprender cualquier problema legal, de proceso o de seguridad que deben ser tenidos en cuenta antes de poner en marcha el proyecto real. Esta solución incluye una blockchain privada que será administrada por un grupo de entidades públicas y privadas, así como una aplicación de software que gestionará los contratos controlados y registrados en la cadena de bloques.

Dubai [7], es otro de los países que investiga la viabilidad de la tecnología, presentando una visión disruptiva para la industria inmobiliaria. El estudio que han realizado se encarga de determinar el efecto de los contratos inteligentes en el desarrollo inmobiliario. Los principales beneficios del uso de smart contracts que han destacado son: la modificación por ambas partes de la base de datos; la inexistencia de confianza entre las entidades y las partes; la descentralización de la información y la separación de transacciones entre partes, en pos de una mayor eficiencia en el proceso de facturación.

Japón se encuentra investigando cómo adoptar esta tecnología [8]. En este caso la prueba está siendo realizada por nueve bancos integrantes de la Asociación de Banqueros de Japón (JBA). Posteriormente, pretenden su uso en el campo del Registro de la Propiedad, tratando de identificar y unificar todos los datos sobre propiedades vacías, espacios improductivos y propietarios e inquilinos sin identificar ante los organismos.

En Reino Unido [9], se encuentran diseñando y probando soluciones blockchain que permitan reducir los tiempos de ejecución y, por tanto, gastos administrativos en el Registro de la Propiedad. Aunque no está claro cuándo se llevarán a cabo estas pruebas, el desarrollo representa el último ejemplo de un organismo público que busca la tecnología blockchain como mecanismo para catalogar los cambios en el Registro de la Propiedad.

India [10] a través de la startup denominada ChromaWay, trabaja en un proyecto piloto para el registro de tierras que emplea la tecnología blockchain como método de rastreo de los títulos de la propiedad.

México [11] mediante un acuerdo con Overstock, pretende crear un sistema para el registro digital de tierras mediante el empleo de blockchain, consiguiendo aumentar las oportunidades para que las personas fortalezcan sus conexiones con la economía global mediante la propiedad legítima de la tierra.

Por último, comentar el caso de Ghana [12], que mediante la startup Bitland, tiene como objetivo principal frenar las disputas sobre la propiedad privada de los terrenos, que se tramitan actualmente en unos tribunales colapsados por este tema. Así que utilizando esta tecnología, se conseguiría documentar la titularidad de las propiedades, evitando estos problemas.

2.2 Blockchain en el Libro del Edificio

Los ejemplos mencionados en el punto anterior están relacionados con diferentes ámbitos del Registro de la Propiedad y con países muy diferentes involucrados. No obstante, en nuestro caso concreto donde se empleará una red blockchain para el almacenamiento y la gestión del Libro del Edificio, podemos afirmar orgullosamente que España se posiciona como la pionera.

En base a la legislación vigente de los libros de los edificios, su depósito y gestión es obligatoria y, además, es un requisito indispensable para llevar a cabo ciertas

inscripciones de obras nuevas, salvo que la normativa autonómica regule lo contrario [13].

En este caso, la regulación legal se encuentra en el artículo 7 de la Ley de Ordenación de la Edificación [14], que obliga al director del proyecto a la elaboración de un Libro del Edificio que debe ser entregado al promotor. Este contiene el proyecto del edificio firmado por el técnico, además de visar y aprobar las posibles modificaciones que puedan existir. Incluye también el acta de la redacción de la obra, los agentes que intervienen en el proceso, las instrucciones de mantenimiento del edificio y sus instalaciones.

Este libro se trata de una entidad viva, ya que va creciendo y actualizándose cada determinado tiempo. Por ejemplo, si ocurre la revisión de un ascensor en un edificio en 5 años, esta intervención quedará documentada y registrada en el Libro del Edificio correspondiente. Además, algunas comunidades autónomas imponen la realización de actualizaciones periódicas, como en el caso de Cataluña donde se realizan cada 15 años.

Esta obligación legal que impone la ley se traslada al Registro de la Propiedad por el artículo 202 de la Ley Hipotecaria [15], que establece que en el caso de que se inscriba en el registro una declaración de Obra Nueva, ésta debe venir acompañada del Libro del Edificio.

A todo lo anterior hay que sumar que la ley obliga al propietario o promotor a poner el libro a disposición de cualquier persona o entidad interesada y, el Registro de la Propiedad como es público, puede suministrar esa información a aquellos terceros siempre que se aprecie la legitimación por parte del Registrador.

Las limitaciones que tiene el sistema actual están mayormente relacionadas con la publicidad registral, que requiere de muchos trámites burocráticos y gastos económicos, y se considera poder solucionar o disminuir significativamente con la introducción de la tecnología blockchain.

Según el Colegio de Registradores [16], las características necesarias de la blockchain para su plataforma descentralizada deben ser las siguientes:

- Una red privada o semiprivada (híbrida), en pos del cumplimiento de los derechos de los usuarios, y permissionada, ya que todo el mundo no podrá escribir en la blockchain.
- Anotación en la blockchain del documento y custodia y almacenamiento del archivo.
- Anotación por nota registral del documento, para ofrecer integridad y

autenticidad.

- Debe cumplir con el Reglamento Europeo General de Protección de Datos, además de la Ley Española de Protección de Datos Personales.
- Debe poseer un sistema electrónico de firma cualificada conforme al reglamento EIDAS [17].
- Tipos de roles empleados para esta red:
 - Autorizadores. Compuestos por el Colegio de Registradores.
 - Operadores. Profesional firmante del Libro del Edificio o sus modificaciones.
 - Usuarios. Titulares registrales de la finca, presidente y administradores de la Comunidad de Propietarios, administraciones públicas o cualquier otra persona o entidad con interés legítimo a juicio del Registrador.
- Capas para sus aplicaciones:
 - Aplicación que permita al firmante del proyecto subir el documento a la cadena.
 - Aplicación que permita al Registrador apreciar la legitimación de un usuario para permitir su acceso.
 - Aplicación de consulta para los usuarios que han sido legitimados.
 - Aplicación monedero que permita a la persona que realiza la consulta el pago del correspondiente servicio registral, permitiendo así sufragar el mantenimiento de la infraestructura informática y los costes del servicio.

Capítulo 3. Tecnología Blockchain

3.1 Características generales

Blockchain o cadena de bloques, tal y como su nombre indica, se trata de una estructura de datos cuya información se almacena mediante la agrupación de bloques, dando lugar así a un sistema en forma de cadena, donde un determinado bloque almacena la referencia de su predecesor. Esta información se encuentra codificada mediante una función hash, produciendo como resultado un bloque con información única e inequívoca (el mínimo cambio en cualquier aspecto del bloque, supondrá una cadena completamente diferente, que será invalidada por el sistema).

De esta forma, la información queda almacenada en un libro mayor compartido de carácter inmutable, que facilita el proceso de registro de transacciones y seguimiento de activos de una red. Entendamos a un activo como algo tangible (coches, propiedades, terrenos, etc) o intangible (marca, participaciones en bolsa, propiedad intelectual, etc). Cualquier elemento que cuente con un valor puede quedar rastreado en una red blockchain, permitiendo reducir riesgos a plagios y robos.

Sus beneficios son claros. Ofrece información de manera fiable, transparente, rápida y lo más exacta posible, a través de los datos almacenados en su libro mayor distribuido en los diferentes nodos que componen la red, y al que únicamente tienen acceso aquellos miembros que han sido autorizados.

La red puede realizar labores como: seguimientos de pedidos, pagos, detalles de productos, etc. Además, una vez que un activo es registrado, se puede consultar todos los detalles de la transacción realizada, lo que le permite generar mayor confianza y eficiencia.

Existen diferentes tipos de arquitectura en el entramado de la blockchain, cada una de ellas tienen sus propias particularidades:

- Redes públicas. Aquellas en las que cualquiera puede unirse y participar.
- Redes privadas. Con los mismos elementos que una pública, pero una o

varias organizaciones son las encargadas de administrar la red y controlan quién tiene permiso para participar.

- Híbridas. Es una fusión entre las anteriores blockchain mencionadas, comúnmente se suele decir que es el intento por aprovechar las ventajas de ambas.

A efectos prácticos, las más habitualmente utilizadas son las dos primeras, siendo aquellas en las que centraremos la atención.

Otra de las piezas fundamentales de esta tecnología son los denominados nodos. Se tratan de equipos que se encuentran conectados a la blockchain. La potencia de hardware que los compone viene dictaminada por las características de la red, y se encargan de establecer un punto de conexión con la blockchain desde el que es posible crear, enviar y recibir información. Cada uno de estos nodos mantiene una copia del libro mayor y, en caso de que ocurra alguna modificación de este libro en alguno de ellos, se encarga de propagar esta información al resto. En el caso de que ésta sea fraudulenta, el resto de nodos ordenan su corrección.

El tipo de nodos que la componen vienen determinados por la propia red. Por ejemplo, en el caso de Ethereum tenemos: los nodos completos (almacenan una copia completa de la blockchain y procesan todos los datos de la red); nodos ligeros (similares a los completos pero con menor capacidad de almacenamiento de datos); nodos de minado (estos participan en el minado de bloques) y nodos de archivo (mantienen de manera paralela a la cadena de bloques una BBDD de estado que permite optimizar las consultas por ejemplo, el saldo de una cuenta en un instante determinado).

La manera de organizar la información distribuida por los nodos es mediante un algoritmo de consenso. Este mecanismo se encarga de coordinar todos los equipos para garantizar que la fuente de información del libro mayor es única, incluso en el caso de que alguno de los nodos falle.

Se disponen de multitud de tipos de algoritmos como: Proof of Work (Prueba de Trabajo); Proof of Stake (Prueba de Participación); Proof of Authority (Prueba de Autoridad); Delegated Proof of Stake (Prueba de Participación Delegada); etc. Aunque algunos de éstos están más relacionados con redes públicas, como en el caso de PoW, y otros más con las privadas, como PoA.

Pese al potencial que dispone esta tecnología, existe también una serie de problemas ligados a los algoritmos de consenso empleados y, cada una de las redes es la encargada de resolverlos de distintas maneras. En el caso, por ejemplo, de las redes que

emplean PoS los ataques más comunes que suelen suceder son los siguientes:

- Ataques del 51%. Para poder controlar la red es necesario poseer la mitad de monedas en circulación.
- El problema de “nada en juego”. La confirmación de bloques, salvo la consideración de que se daña el sistema de participación, no tiene ningún coste real, por lo que no se incentiva el consenso.
- Ataques Goldfinger. Estos buscan socavar y desestabilizar el protocolo de consenso para el beneficio del atacante.

Para resumir toda la información anterior, podríamos decir que la blockchain se trata de una base de datos descentralizada y segura.

3.2 Blockchain Pública

Las redes de este tipo son las más conocidas por todos (Bitcoin, Ethereum, Solana, etc.). Además, son las mejores que representan el trilema de blockchain. Las puntas que conforman este triángulo son: seguridad, escalabilidad y descentralización. Lo que nos dice este teorema es que como máximo se pueden encontrar en una red dos de las tres aristas del triángulo, pero nunca las tres al mismo tiempo.

La idea principal de este tipo de redes es que cualquier persona que se una puede participar, para ello solo debe crear una cuenta en la red. Como ejemplo tenemos el caso de Ethereum. Se puede usar Metamask para crear la cuenta de Ethereum y una vez creada ya se pueden realizar las diferentes transacciones.

Otra característica de estas redes es que todas las transacciones tienen un coste asociado. Esto dependerá tanto de la cantidad de información que se desea transmitir, como de las tasas asociadas al procesamiento de la misma (conocidas en Ethereum como gas).

Continuando con lo último mencionado, el desarrollo de aplicaciones de carácter descentralizado en redes con un algoritmo de consenso PoW, resultan ser muy poco rentables, ya que el coste medio por una transacción es muy elevado. Para conseguir que su precio se vea realmente minimizado, debemos hacer uso de redes con protocolos de consenso de tipo PoS.

Las redes públicas suelen contar con una red de pruebas, ésta permite probar el

funcionamiento de una aplicación descentralizada sin la necesidad de hacer una inversión de costes en el proceso. El problema que suelen acarrear es que, al no aportar un beneficio real a sus participantes, son los propios administradores de la red los que se encargan de su mantenimiento, produciendo caídas con bastante frecuencia debido a problemas técnicos.

3.3 Blockchain Privada

Este tipo de redes debe su aparición a numerosas empresas que supieron ver el potencial a blockchain. Generalmente cuentan con los mismos elementos que componen las redes públicas, pero a diferencia de éstas, las blockchain permissionadas dependen de una sola organización que es quién administra la red y controla quién tiene permiso para participar.

El principal ejemplo de blockchain privada nos lo da Hyperledger, se trata de un proyecto iniciado por la Fundación Linux conjuntamente con una multitud de grandes empresas del sector tecnológico. Los objetivos principales de este proyecto son los de desarrollar estándares y protocolos abiertos; permitiendo el desarrollo de un gran número de blockchains cada una con su modelo de consenso, almacenamiento, servicios para identidad, control de acceso y contratos inteligentes.

Las características principales que destacan a este tipo de redes son las siguientes:

- No existe el concepto de minería, debido a que no se suele hacer empleo de protocolos de consenso como el Proof of Work.
- Estas no suelen contar con criptomonedas, puesto que el mantenimiento económico de la red depende generalmente de la empresa responsable del proyecto.
- Poseen un rendimiento superior a las públicas. Esto es debido a su menor escala, permitiendo una mayor velocidad en todas sus operaciones, así como un mayor alcance y disponibilidad en la red.
- Son más fiables, ya que al contrario que las redes públicas se identifica a los participantes.

Pero esta tipo de redes también tiene ciertas desventajas como:

- La falta de descentralización, ya que la red es controlada por una única organización.

- La carencia de inmutabilidad, debido a que un conjunto de nodos podría decidir alterar las transacciones y los datos registrados en la blockchain.

3.4 Smart Contracts

Una de las características más importantes de esta tecnología, que no ha sido comentada hasta el momento, pero que ha dado pie a las redes blockchain de segunda generación, son los contratos inteligentes.

Podríamos definir los smart contracts (contratos inteligentes) como un programa que se encuentra dentro de la blockchain, con capacidad de ejecutar acciones basadas en una serie de parámetros ya programados, todo ello de forma inmutable, transparente y segura. Funcionan de manera similar a un contrato convencional estableciendo: qué se puede hacer, cómo se puede hacer y qué sucede si alguna acción no es realizada, definiendo así la interacción que se va a realizar entre las partes involucradas, pero sin la necesidad de intermediarios.

Los contratos inteligentes son capaces de auto-ejecutarse y no están sujetos a la interpretación de alguna de las partes involucradas. Es importante destacar que por norma general no pueden ser modificados una vez que son desplegados en la red, debido a la naturaleza inmutable de esta tecnología. Un contrato con errores podría suponer fallos o comportamientos inesperados, llegando a ocasionar pérdidas de activos. Para corregir esos errores es posible crear nuevas versiones de esos contratos que sustituyan a los anteriores, pero sin cambiar el contenido de los mismos; es decir, se añaden al sistema para que los clientes puedan comenzar a usarlos, en detrimento de los anteriores.

Los smart contracts pueden ser creados e invocados por personas físicas, máquinas u otros programas que funcionan de manera autónoma, por lo que tienen validez sin depender de las autoridades. Permitiendo evitar la centralización, burocracia y censura implícita en los contratos convencionales.

Dependiendo de la red, el lenguaje empleado para sus codificaciones variará. Algunos ejemplos de estos son: Ethereum con Solidity; Solana con Rust; Cardano con Plutus; Hyperledger Fabric con Javascript, Go o TypeScript; etc.

Algunos de los campos para los que puede resultar sumamente interesante su empleo son aquellos donde se firman contratos tradicionales: registros, comercio, cadenas de suministro, hipotecas, mercado inmobiliario, protección de derechos de autor, procesos electorales, entre otros.

Capítulo 4. Desarrollo del B3

4.1 B3

El trabajo desarrollado para este TFG se ha centrado en una aplicación que se encarga del almacenamiento y gestión del Libro del Edificio. El nombre con el que ha sido denominado el proyecto es B3 (Blockchain Building Book). La principal característica por la que el Colegio de Registradores está tan interesado en esta tecnología es la trazabilidad de datos que permite, dejando registrados todos los movimientos de cada una de las transacciones en la red. Para ejemplificar el funcionamiento se propone el esquema de la Figura 1.

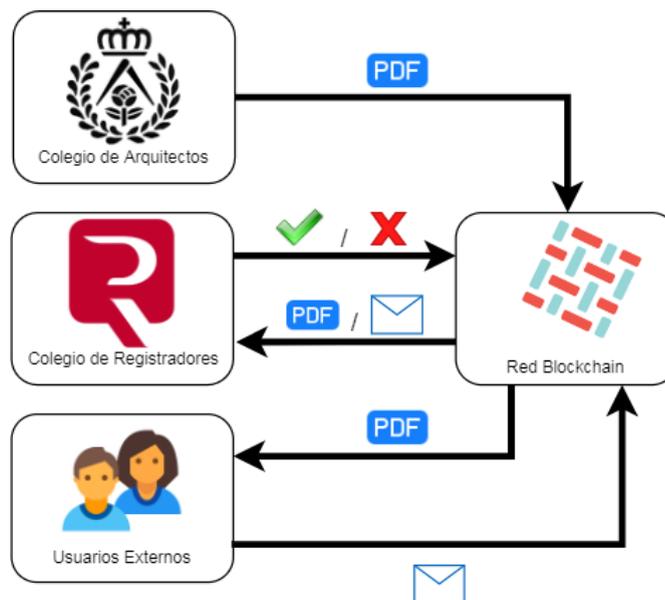


Figura 1. Esquema de las transacciones de la aplicación.

Inicialmente el Colegio de Registradores propuso emplear una red privada o híbrida y nosotros optamos finalmente por una privada debido a que se pretendía disponer de diferentes tipos de roles de usuarios en el sistema, funciones específicas en los contratos para cada uno de ellos, y cumplir con los requisitos de privacidad de la información a tratar.

La red blockchain seleccionada para el trabajo fue Hyperledger Fabric [18]. Las principales razones que han motivado esta elección han sido: a) tratarse de un tipo de red que se adapta a todo tipo de casos de uso; b) contar con una buena documentación que facilita su aprendizaje y uso; y además c) poseer, tanto de una red de ejemplo que con pocas modificaciones podría adaptarse a nuestro caso de uso impuesto, como de contratos de ejemplo para facilitar la labor de aprendizaje.

El desarrollo de la aplicación ha estado dividido en varias etapas:

1. Modificación de la red de ejemplo para adaptarla a nuestro caso de uso.
2. Desarrollo de los smart contracts empleados por nuestra aplicación.
3. Creación del API REST.
4. Desarrollo de la aplicación Frontend.

4.2 Participantes

Este apartado se encargará de recoger los roles de los usuarios y su implicación en la red Blockchain desarrollada, pero antes veremos el sistema de organizaciones con el que ha sido elaborado este prototipo.

En nuestro supuesto práctico, haremos uso únicamente de dos organizaciones a las que se les atribuye un nodo propio. Por un lado tendremos el Colegio de Arquitectos y por otro, el Colegio de Registradores.

Los usuarios externos no necesitan un nodo propio dentro de la red, ya que podrán acceder a través de los provistos por la organización del Colegio de Registradores.

En el sistema existirá un control de acceso por roles que permitirá la asignación de permisos a los diferentes miembros de la red. Por ejemplo, única y exclusivamente un Registrador podrá autorizar las solicitudes de consulta de un Libro del Edificio a los usuarios externos.

La Figura 2 representa la forma de intervención de cada uno de los participantes en la aplicación que ha sido diseñada para el prototipo inicial.

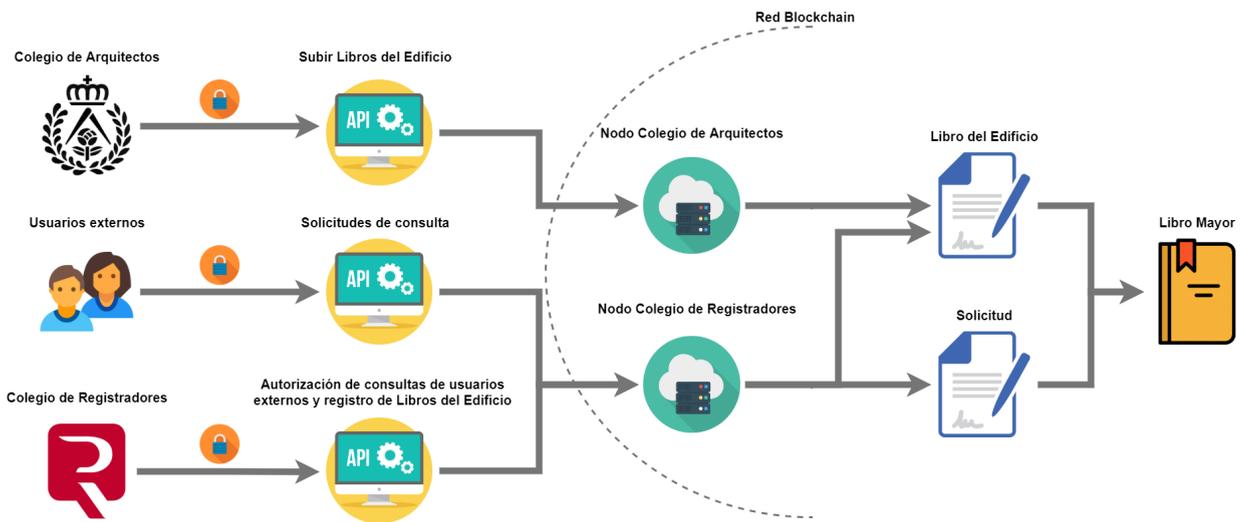


Figura 2. Intervención de usuarios en el prototipo de la aplicación.

4.2.1 Arquitecto

Es el técnico que tiene la misión de firmar el proyecto, redactar y hacer entrega del Libro del Edificio, además de las posibles modificaciones posteriores que puedan existir, siendo siempre debidamente visadas y aprobadas por el mismo.

La función que cumplirá dentro de la red será la de enviar los Libros del Edificio.

4.2.2 Registrador

Es el agente que se encarga de dar validez a las operaciones de registrar, autorizar y consultar el Libro del Edificio que se realizan dentro de la red.

Las funciones que cumplirá dentro de la misma serán la de autorizar los accesos a la red por parte de terceros que acrediten interés legítimo en la consulta del libro y la de registrar o admitir nuevos Libros del Edificio.

4.2.3 Usuario externo

Es aquella persona o entidad que tenga interés legítimo, a juicio del Registrador, por consultar la información que se encuentra recogida en un determinado Libro del Edificio.

La función que cumplirá dentro de la red será la de generar peticiones que recibirá el Registrador que autorizará o no, el acceso al registro de un determinado Libro del Edificio.

4.3 Red Privada de Ejemplo

Como ya se ha comentado, la red que ha sido empleada para este proyecto es Hyperledger Fabric Testnet [19]. Este ejemplo pone a nuestra disposición inicialmente dos organizaciones y cada una de éstas con dos tipos de usuarios (administrador y usuario).

Para ser adaptada al prototipo ideado, la primera organización quedó conformada por un único tipo de usuario, denominado Arquitecto, en el caso de la segunda organización se modificaron los usuarios existentes pasando a denominarse Registrador y usuario externo.

Las figuras 3 y 4 vienen a mostrar lo comentado anteriormente.

```
infoln "Registering the org admin" # Este usuario tendrá el rol del
arquitecto
set -x
fabric-ca-client register --caname ca-org1 --id.name orgladmin --id.secret
orgladminpw --id.type admin --tls.certfiles
${PWD}/organizations/fabric-ca/org1/tls-cert.pem --id.attrs
'authorities=ARCHITECT:ecert'
{ set +x; } 2>/dev/null
```

Figura 3. Asignación organización 1. Rol *Arquitecto*.

```
infoln "Registering user" # Este usuario tendrá el rol del usuario externo
set -x
fabric-ca-client register --caname ca-org2 --id.name user1 --id.secret
user1pw --id.type client --tls.certfiles
${PWD}/organizations/fabric-ca/org2/tls-cert.pem --id.attrs
'authorities=EXTERNAL_USER:ecert'
{ set +x; } 2>/dev/null

infoln "Registering the org admin" # Este usuario tendrá el rol del
registrador
```

```
set -x
fabric-ca-client register --caname ca-org2 --id.name org2admin --id.secret
org2adminpw --id.type admin --tls.certfiles
${PWD}/organizations/fabric-ca/org2/tls-cert.pem --id.attrs
'authorities=REGISTRAR:ecert'
{ set +x; } 2>/dev/null
```

Figura 4. Asignación organización 2. Roles *Registrador* y *usuario externo*.

El resultado de los comandos anteriores es la creación de sendas identidades para los usuarios del sistema. En Hyperledger Fabric, estas identidades tienen la forma de certificados digitales emitidos por la Autoridad Certificadora (CA) correspondiente a cada organización de la red. El rol del usuario se almacena como un atributo interno en el certificado generado.

4.4 Smart Contracts

Podríamos decir que se tratan de la parte central de nuestro trabajo, ya que los contratos serán los encargados de establecer la comunicación entre las aplicaciones desarrolladas en el API REST con la blockchain. Estos se encargarán de tareas como el almacenamiento de los Libros del Edificio, además del registro de peticiones en el sistema, para posteriormente poder consultarlos. Cada función de los contratos determina, si el usuario que trata de realizarla, está autorizado. Para lograr este objetivo se ha tenido que realizar una restricción en los permisos dentro de los propios contratos.

Los contratos han sido desarrollados en el lenguaje de programación Javascript y estos han sido divididos en dos: Libro del Edificio y Peticiones.

4.4.1 Contrato Libro del Edificio

Los metadatos que se encarga de almacenar son:

- **IDUFIR** (Identificador Único de Finca Registral). Este actuará como nuestro identificador principal para localizar un determinado libro del edificio. Se trata de un número con una longitud de 14 dígitos.
- Lista de estructuras que contienen las diferentes versiones del libro a lo largo del tiempo. Los datos que almacenarán estas serán:

- Número de versión.
- Estado: pendiente, registrado o anulado.
- Hash referencia del documento PDF del libro del edificio (ya que el documento en sí es almacenado *off-chain*).
- Timestamp del envío del libro al sistema.
- Timestamp de registro del libro en el sistema.
- Nombre / NIF del arquitecto.
- Motivo en caso de que el libro haya sido rechazado por un registrador.

Esta contrato realiza las siguientes operaciones:

- Creación de un nuevo libro del edificio (realizada por arquitectos). La creación del libro del edificio lo deja en estado pendiente, a la espera de que un registrador lo registre o anule.
- Actualización de un libro mediante su **IDUFIR** (realizada por arquitectos). Esto es para subir una nueva versión del libro del edificio. Esta operación deja la versión en estado pendiente y el registrador debe de registrarla, dejando constancia de esta operación por nota marginal en el folio registral abierto a la finca.
- Recuperar los libros del edificio en estado pendiente (realizada por registradores).
- Registrar un libro del edificio (realizado por los registradores), los cuales dejarán constancia de esta operación por nota marginal en el folio registral abierto a la finca.
- Recuperación de todas las versiones de un libro mediante su **IDUFIR** (realizada por arquitectos, registradores y usuarios externos). En el caso de usuarios externos, esta operación debe ir acompañada de una solicitud previamente autorizada (ver apartado siguiente).
- Recuperación de una versión concreta de un libro mediante su **IDUFIR** y su número de versión. En el caso de que la operación la realice un usuario externo, se solicitará además un código de solicitud que debe haber sido aprobada por el registrador (realizada por arquitectos, registradores y usuarios externos).

Algunos supuestos:

- El registrador a cuyo distrito hipotecario pertenezca la finca registral puede consultar y registrar cualquier libro del edificio.
- Los arquitectos pueden consultar los libros del edificio registrados por él, por su IDUFIR sin necesidad de realizar una solicitud previa.

En la Figura 5 se puede ver un ejemplo de función de este contrato.

```
class BuildingBook extends Contract {
  // ***** METHODS FOR ARCHITECTS *****
  async CreateBuildingBook(ctx, IDUFIR, documentHash, architectName, sendTimestamp) {
    Exceptions.CheckArgsNumberAndContent(5, ctx, IDUFIR, documentHash, architectName, sendTimestamp);
    Exceptions.CheckIfArchitect(await ctx.clientIdentity.getAttributeValue('authorities'));
    if (await this.ExistBuildingBookWithIDUFIR(ctx, IDUFIR)) { // Check if building book with this IDUFIR already exists
      throw new Error(`The building book with IDUFIR ${IDUFIR} already exists`);
    }
    const curretBook = await new DocumentReference('1', documentHash, architectName, sendTimestamp);
    const buildingBook = {
      IDUFIR: IDUFIR,
      BookVersions: [curretBook],
    };
    ctx.stub.putState(IDUFIR, Buffer.from(JSON.stringify(buildingBook)));
  }
}
```

Figura 5. Ejemplo de creación de un nuevo Libro del Edificio.

4.4.2 Contrato Peticiones

Los metadatos que se encarga de almacenar son:

- Código de la solicitud. Este actuará como nuestro identificador principal para localizar una determinada consulta.
- Identificador del usuario externo que realiza la solicitud.
- Nombre del usuario externo.
- **IDUFIR.**
- Versión del libro que se desea consultar.
- Estado de la solicitud: pendiente, aceptado o rechazado.
- Motivo de la consulta.
- Motivo en caso de que la solicitud haya sido rechazada por un registrador.

Las operaciones que se encargará de realizar este contrato, son las siguientes:

- Crear una nueva solicitud (realizada por usuarios externos).

- Mostrar las solicitudes pendientes (realizada por registradores). Los registradores pueden ver las solicitudes de todos los usuarios externos, teniendo la posibilidad de filtrar por las de un usuario externo en concreto.
- Mostrar una solicitud pendiente mediante su código de solicitud (realizada por registradores).
- Aceptar o rechazar una solicitud mediante su código de solicitud (realizada por registradores).
- Mostrar el estado de una solicitud mediante su código de solicitud (realizada por usuarios externos). En este caso, un usuario externo solo puede ver sus propias solicitudes.
- Mostrar todas las solicitudes realizadas por un usuario determinado (realizada por usuarios externos).

Algunos supuestos:

- Los usuarios externos pueden crear una petición de consulta a un libro y se quedará a la espera de que un Registrador la acepte o rechace.
- Los usuarios podrán consultar todas aquellas solicitudes que hayan solicitado.
- Los Registradores podrán aceptar o rechazar solicitudes en función de los motivos aportados por los usuarios.

En la Figura 6 se presenta un ejemplo de una función de este contrato.

```
class Request extends Contract {
  async CreateRequest(ctx, participantID, participantName, IDUFIR, versionNumber, reasonQuery) {
    Exceptions.CheckArgsNumberAndContent(6, ctx, participantName, participantID, IDUFIR, versionNumber, reasonQuery);
    Exceptions.CheckIfExternalUser(await ctx.clientIdentity.getAttributeValue('authorities'));
    if (await this.ExistPendingRequestByParticipantWithIDUFIRAndVersionNumber(ctx, participantID, IDUFIR, versionNumber)) {
      throw new Error('The petition you are trying to create already exists and is being processed');
    }
    const request = {
      RequestCode: `${requestCodeNext}`,
      ParticipantID: participantID,
      ParticipantName: participantName,
      IDUFIR: IDUFIR,
      VersionNumber: versionNumber,
      RequestStatus: 'pending',
      ReasonQuery: reasonQuery,
      ReasonRejection: ''
    };
    requestCodeNext++;
    ctx.stub.putState(request.RequestCode, Buffer.from(JSON.stringify(request)));
  }
}
```

Figura 6. Ejemplo de creación de una nueva petición.

4.5 API REST

Para la ejecución de este trabajo se ha integrado el ejemplo de API REST proporcionado por la organización Hyperledger Fabric [20], con el desarrollado por mi compañero Eduardo Suárez Ojeda para su TFG [21], éste último debido a la cierta similitud con el proyecto que se pretende ejecutar.

4.5.1 Conexión con Blockchain

La función desempeñada por la API REST en este proyecto es la de establecer una conexión de la red blockchain con el Frontend. Además, esta aplicación debe gestionar los roles de usuarios implicados, con el fin de que las funciones desarrolladas sólo sean empleadas por aquellos a los que les correspondan, aunque en caso de saltarse esta primera capa de seguridad, serán los contratos inteligentes los encargados de comprobar la autoridad del usuario, por lo que dispondremos de una doble protección del sistema.

Las librerías fundamentales empleadas en la aplicación son las siguientes:

- Express. Para levantar el servidor y proporcionar funcionalidades como el enrutamiento.
- Fabric-network. Esta permite comunicarse con la blockchain de Fabric desarrollada.
- Oas-tools. Soporte para iniciar una aplicación OpenAPI 3.0.
- Multer. Manejo de recepción de archivos en el servidor.

Para crear las variables de entorno se ha recurrido a un Script que contiene los certificados y las claves de usuarios proporcionados por la red, además de información como, los puertos por lo que será accedido a cada nodo, el puerto en el que será levantada la API REST, etc. Toda esta información queda recogida una vez iniciado el servidor en el fichero denominado *.env*.

4.5.2 Endpoints

Los Endpoints empleados por la aplicación coinciden con las funcionalidades que han sido comentadas anteriormente en el apartado de los contratos. Por ejemplo, en la

Figura 7 podemos observar el Endpoint, correspondiente a la obtención de un determinado Libro del Edificio por parte de un usuario externo.

```
module.exports.readBuildingBookExternalUser = async function readBuildingBookExternalUser(req,
res, next) {
  try {
    logger.info("Read builing book with External User");
    logger.info("Validating request...");
    const token = req.headers['authorization'].replace('Bearer ', '');
    const user = parseJwt(token);
    const userRol = user.rol;
    const participantID = user.id;
    req.params.version = (req.params.version === '0') ? '' : req.params.version;
    const { IDUFIR, versionNumber, requestCode } = validator('IDUFIR', req.params.IDUFIR,
'versionNumber', req.params.version, 'requestCode', req.params.requestCode);
    logger.info(`IDUFIR: ${IDUFIR}, versionNumber: ${versionNumber}, requestCode:
${requestCode}, userId: ${participantID}, Rol: ${userRol}`);
    logger.info("Success validating request");
    const contract = req.app.locals[userRol].buildingBookContract;
    await buildingBookService.checkIfRequestIsAccepted(contract, requestCode, participantID,
IDUFIR, versionNumber);
    let response;
    if (versionNumber !== '') {
      response = await
buildingBookService.readBuildingBookWithIDUFIRAndVersionNumber(contract, IDUFIR, versionNumber);
    } else {
      response = await buildingBookService.readBuildingBookWithIDUFIR(contract, IDUFIR);
    }
    utils.writeJson(res, response.toString());
  } catch (err) {
    handleError(err, res, "Read builing book External User");
  }
}
```

Figura 7. Endpoint de ejemplo.

Los elementos fundamentales que podemos destacar son los *await*, estos determinan que será lanzada una consulta a la blockchain y se esperará a que devuelva la respuesta.

En el primer *await* que aparece comprobará si el usuario actual tiene una petición de acceso válida para el libro que trata de consultar. En caso de que esté autorizada, en la segunda llamada se buscará el Libro del Edificio en función de su versión o solamente teniendo en cuenta su IDUFIR.

4.5.3 Seguridad

Como método de protección ante las posibles peticiones por parte de usuarios malintencionados a la blockchain, se ha llevado a cabo un mecanismo de autenticación mediante *Json Web Token*. Este nos ofrece la seguridad mencionada y además permite rescatar desde el Frontend de manera sencilla, datos como el identificador de usuario, el rol que desempeña y su nombre.

Para evitar tener un contrato inteligente exclusivo para el almacenamiento de los usuarios, se creó un documento auxiliar emulando la funcionalidad de una pequeña base de datos que contiene la información referente a estos.

4.6 Flujo de la Aplicación

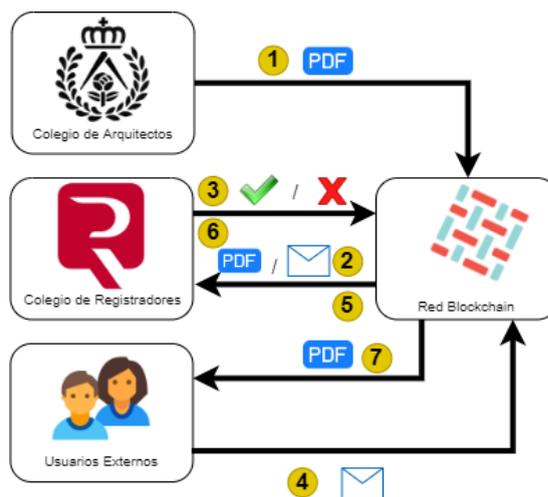


Figura 8. Flujo de peticiones.

Las flechas se encargan de indicar la dirección de comunicación que existe entre los usuarios y la blockchain, mientras que los números explican el orden en el que deben realizar las diferentes peticiones para el correcto funcionamiento del sistema. Procederemos a comprobar que representa cada uno de estos puntos:

1. Registro en la blockchain de un nuevo Libro del Edificio o la actualización del mismo, esta es realizada a través del nodo del Colegio de Arquitectos.
2. Envío del libro del Edificio desde la blockchain al nodo del Colegio de Registradores.

3. Aceptación o rechazo del Libro del Edificio por parte del nodo del Colegio de Registradores, quedando registrado en la blockchain.
4. Solicitud de acceso al libro registrado en la blockchain por parte de los usuarios externos.
5. Envío de la petición desde blockchain al nodo del Colegio de Registradores.
6. Aceptación o rechazo de la petición por parte del Registrador, quedando registrado en la blockchain.
7. Tras ser aceptada la solicitud, el usuario puede consultar el Libro del Edificio.

4.7 Frontend

El desarrollo de esta última parte del proyecto fue realizado con el framework Angular. Esta elección fue motivada por los conocimientos previos que poseía en la utilización del mismo. La versión empleada ha sido la última estable disponible (v.12).

Para facilitar la labor de desarrollo que supuso comenzar de cero una aplicación de estas características, se empleó una plantilla denominada Flexy [22]. Esta poseía todas aquellas herramientas básicas necesarias para dar a la interfaz de usuario una buena apariencia sin requerir de grandes esfuerzos.

El mayor inconveniente que tiene el empleo de plantillas de carácter gratuito es la adaptabilidad de dispositivos. Por lo que se decidió que, para este prototipo inicial, su disposición sería únicamente para PC.

La pantalla de inicio de sesión se muestra en la Figura 9.

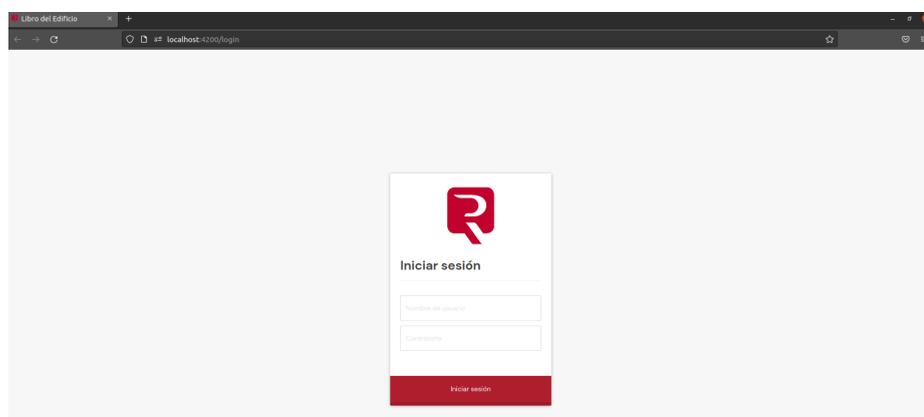


Figura 9. Página de inicio de sesión.

Una vez que el usuario accede a la aplicación podrá consultar la siguiente información que se muestra en las Figuras 10, 11 y 12:

- En la barra de navegación aparecerán su nombre, rol que desempeña y un botón para cerrar sesión.
- En la barra lateral izquierda se mostrarán aquellas vistas a las que tiene acceso.

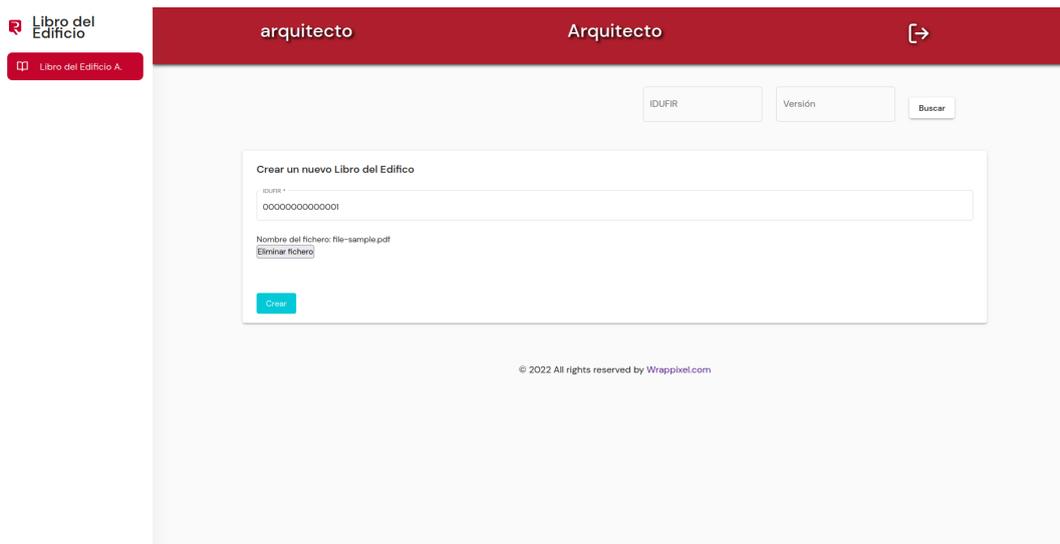


Figura 10. Vista del Arquitecto.

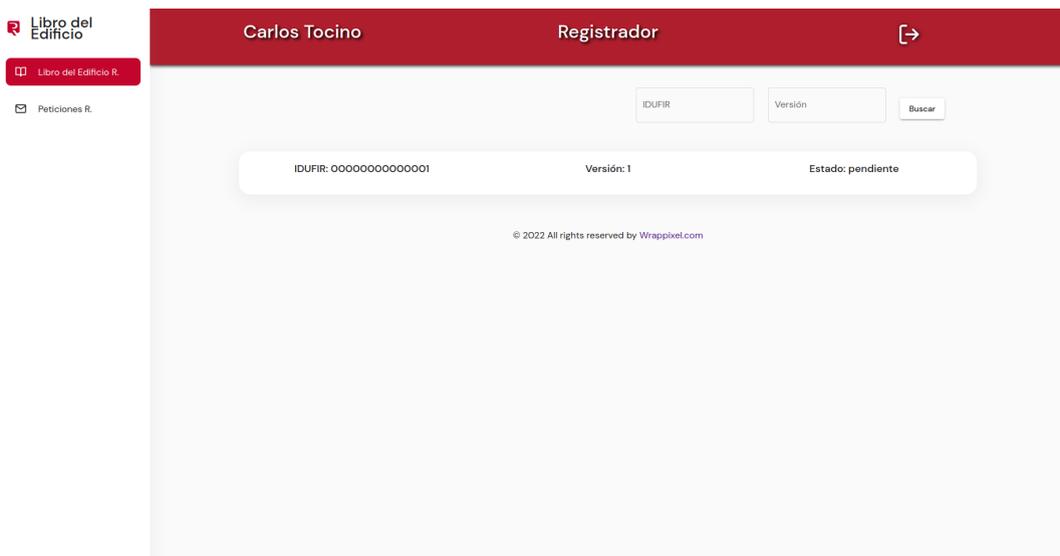


Figura 11. Vista del Registrador.

ciudadano Usuario externo ↗

Código de solicitud Buscar

Crear una solicitud

IDURR *
00000000000001

Versión *
1

Seleccione un interés legítimo

- Investigación jurídico-económica sobre crédito, solvencia o responsabilidad
- Investigación jurídica sobre el objeto, su titularidad o limitaciones
- Investigación para contratación o interposición de acciones
- El solicitante es titular de algún derecho sobre la finca
- Otros

Crear

© 2022 All rights reserved by Wrappixel.com

Figura 12. Vista del usuario externo.

Capítulo 5. Conclusiones y líneas futuras

5.1 Conclusiones

Tras finalizar con el proyecto, pueden ser extraídas una infinidad de conclusiones, de las que destacan las siguientes:

Blockchain, pese a la concepción que tiene la mayoría de gente sobre su uso en ámbitos de especulación financiera, posee un gran número de características que permiten la mejora de un sinnúmero de sistemas actuales, gracias a su naturaleza inmutable y descentralizada. En las áreas donde puede destacar, son aquellas que actualmente emplean contratos convencionales, permitiendo ser adaptados y automatizados mediante smart contracts.

Es claro su potencial en el Registro de la Propiedad ya que permite: almacenar la información de manera inmutable; la trazabilidad de los datos; y la mejora en la cantidad y la velocidad de las transacciones que actualmente son realizadas.

Para el caso concreto del Libro del Edificio, ha quedado demostrado con el prototipo desarrollado la capacidad que desempeña blockchain, simplificando el número actual de trámites burocráticos, permitiendo una reducción en los costos asociados y facilitando la publicidad de los libros.

El hecho de haber seleccionado una red permissionada ha sido todo un acierto, ya que permite regular de manera eficaz el acceso a determinadas funciones de los contratos inteligentes.

El problema de la adaptabilidad de la aplicación a múltiples dispositivos (smartphones, tablets, PC, etc) es el haber empleado una plantilla gratuita. Esto es debido a que las empresas limitan sus funcionalidades. Por tanto, la manera de actuar sería adquiriendo la versión completa de alguna de las plantillas disponibles o desarrollando una por nuestra cuenta.

Aún con todas las ventajas no debemos de olvidar que esta tecnología posee ciertos problemas. Los más destacables son: los algoritmos de consenso empleados, y con ello, los posibles ataques que pueden ser realizados; no poder modificar contratos en la red una vez que estos han sido desplegados, sino que se deben desplegar una nueva versión de los mismos; y no permitir abarcar a la vez todas las aristas del trilema de blockchain.

5.2 Líneas Futuras

Fuera del alcance de este proyecto han quedado diversos aspectos que, si bien para esta primera versión no son estrictamente necesarios, deben ser tenidos en cuenta para el desarrollo futuro, estos son:

- Una aplicación monedero que servirá para sufragar los costes de mantenimiento de la infraestructura desarrollada, así como el abono de los servicios ofrecidos. Para ello se plantea la opción de introducir una criptomoneda propia de la red.
- Modificar la plantilla gratuita de Angular empleada en el Frontend por una de pago o por una desarrollada por nosotros, que proporcione tantas posibilidades como la actual, pero que además permita dar adaptabilidad a múltiples dispositivos.
- Autenticación a nivel de aplicación web de los usuarios mediante certificado electrónico de la FNMT, y utilizar un servicio centralizado que mapee esas identidades con certificados de Fabric.
- Posible extensión del sistema para incluir otra organización para AAPP o reguladores que necesiten monitorizar el sistema.
- Incluir una opción para eliminar solicitudes de presentación de una nueva versión del Libro del Edificio. Para ello se debe tener en cuenta que una vez iniciado cualquier procedimiento registral, no puede el interesado desistir de él por su propia voluntad, sino que tiene que hacer una petición de desistimiento y el registrador tiene que decidir si se la concede o no.
- La Dirección General de los Registros de la Propiedad está exigiendo, en recientes resoluciones, que el propietario de la finca ratifique el Libro del Edificio que está presentando el técnico ante el Registro, con su comparecencia, aunque también permite que el titular firme el .pdf digitalmente, o incluso que estampe firma física en el CD. Inicialmente no se

planteaba el problema, pues se solía realizar acta notarial de depósito del Libro del Edificio, que luego se aportaba al Registro.

- Añadir todos aquellos metadatos a los contratos desarrollados que no hayan sido tomados en cuenta.

Además de lo anterior mencionado, ya hemos mostrado la aplicación desarrollada al Registrador D. Carlos Tocino para su validación y ha quedado muy satisfecho respecto a los requisitos que inicialmente solicitó. También nos hizo algunas sugerencias que fueron incorporadas en la aplicación. Queda pendiente una reunión final para mostrar el resultado final a D. Carlos Tocino, en representación del Colegio de Registradores, y a María Elena Sánchez, Catedrática de la ULL y colaboradora de este proyecto. Este prototipo servirá para ilustrar las características y capacidades del sistema que pretende ser desarrollado en el ámbito del Libro del Edificio.

Capítulo 6. Summary and Conclusions

6.1 Conclusions

At the end of the project, an infinite number of conclusions can be obtained, the most important of which are the following:

Blockchain, although most people's conception of its use is in areas of financial speculation, there are a large number of features that allow the improvement of a multitude of current systems, thanks to its immutable and decentralized nature. The areas where it can stand out are those that currently use conventional contracts, allowing them to be adapted and automated through smart contracts.

Its potential in the Land Registry is clear since it allows for: storing information in an immutable way; data traceability; and the improvement in the number of transactions that are currently carried out.

In the specific case of the Building Ledger, a developed prototype has demonstrated the capacity of blockchain for simplifying the current number of bureaucratic procedures, allowing a reduction in the associated costs and facilitating the publicity of the books.

The selection of a permissioned network for the project was a wise choice, as it allows effective regulation of access to certain smart contract functionalities.

The problem of the adaptability of the application to multiple devices (smartphones, tablets, PC, etc) is the consequence of using a free template, as it causes companies to limit their functionality. Therefore, the way to act would be to acquire the full version of one of the available templates.

Even with all the advantages, we must not forget that this technology has certain problems, the most notable of which are: the consensus algorithms used, and with it, the possible attacks that can be carried out; not being able to update contracts on the network

once they have been deployed; and not being able to cover all the edges of the blockchain trilemma at the same time.

6.2 Future Works

Out of the scope of this project there are several aspects that, although not strictly necessary for this first version, should be taken into consideration for future development, these are:

- A wallet application that could be used to cover the maintenance costs of the developed infrastructure, as well as the payment of the services offered. For this purpose, the option of introducing the network's own cryptocurrency is being considered.
- Modify the free Angular template used in the Frontend, for a paid one that provides as many possibilities as the current one, but also allows adaptability to multiple devices.
- Authentication at the web application level of users using FNMT electronic certificates, and use a centralized service that maps these identities with Fabric certificates.
- Possible extension of the system to include another organization for PPAs or regulators that need to monitor the system.
- Include an option to eliminate requests for the submission of a new version of the Building Book. For this purpose, it should be taken into consideration that once any registration procedure has been initiated, the interested party cannot withdraw from it of its own free will, but has to make a request for withdrawal and the Registrar has to decide whether to grant it or not.
- The Directorate General of Property Registries is requiring, in recent resolutions, that the owner of the property ratifies the Building Book that the technician is presenting to the Registry, with his appearance, although it also allows the owner to sign the .pdf digitally, or even to affix a physical signature on the CD. Initially, this was not a problem, since it was customary to have a notarial deed of deposit of the Building Book, which was then submitted to the Registry.
- Add all those metadata to the developed contracts that have not been taken into consideration.

In addition to the above mentioned, a meeting is pending to show the operation of the developed application to Carlos Tocino, representing the Association of Registrars, and

María Elena Sánchez. This prototype will serve to illustrate the system that is intended to be developed within the scope of the Building Book.

Capítulo 7. Presupuesto

7.1 Tabla de Elementos Implicados en el Sistema

Elementos	Descripción
Formación previa del equipo de desarrollo	Costes asociados a la formación del equipo de desarrollo para conocer el ecosistema blockchain, los smart contracts e Hyperledger Fabric.
Equipos informáticos	Dispositivos que serán necesarios para llevar a cabo la aplicación.
Producción de la aplicación	Costes asociados al proceso de desarrollo del proyecto, se estima una duración de 2 meses.
Pruebas del sistema	Conjunto de pruebas que serán realizadas posteriores al desarrollo, con el objetivo de comprobar el rendimiento, la resistencia y la seguridad del sistema.
Mantenimiento de los nodos de la red	Tarifa asociada a los equipos necesarios para desplegar los nodos de la red, así como su mantenimiento durante 2 años.
Equipos de respaldo para los nodos de la red	Las organizaciones contarán cada una con dos nodos de respaldo para evitar las pérdidas de información, debido a la importancia que tienen.
Soporte a la red	Coste derivado del mantenimiento de la aplicación por parte del equipo de desarrollo. Estos estarán encargados de ofrecer sus servicios durante los 2 años

	siguientes a la finalización del proyecto.
Imprevistos	Margen de error en caso de que el presupuesto en alguno de los elementos implicados, requiera de un mayor importe, se necesite más tiempo de maduración en algún aspecto o incluso exista algo que no haya sido contemplado inicialmente. Este tendrá un valor correspondiente al 7% del resto del proyecto.

Tabla 1: Elementos implicados en el sistema.

7.2 Presupuesto del Proyecto

Elemento	Unidad	Cantidad	Horas	Coste/Unidad	Coste estimado
Formación previa del equipo de desarrollo	Integrantes equipo	4		250	1.000 €
Equipos informáticos					
Equipos para los desarrolladores	Cantidad	4		800 €	3.200 €
Servidores	Cantidad	4		1.124,04 €	4.496,16 €
Producción de la aplicación					
Programador Senior y encargado de la gestión del proyecto	Persona	1	176	34,10 €/h	6.001,60 €
Programadores Junior	Persona	3	176	17,06 €/h	9.007,68€
Pruebas del sistema	Cantidad	1	56	34,10 €/h	1.909,60 €
Mantenimientos de los nodos de la red	Nodo	2		550 €	1.100 €
Equipos de respaldo para los nodos de la red	Nodo	2		550 €	1.100 €

Soporte a la red	Año	2		1.200 €	2.400 €
Imprevistos					2.115,01€
Presupuesto total					32.330,05 €

Tabla 2: Presupuesto del proyecto.

Bibliografía

- [1]. «Registradores de España - Corpme Web Institucional - Corpme», *Corpme Web Institucional*. [En línea]. Disponible en: <https://www.registradores.org>. [Accedido: 26-may-2022].
- [2]. «¿Qué es el Libro del Edificio?», *Realia*. [En línea]. Disponible en: <https://www.realia.es/que-es-el-libro-del-edificio>. [Accedido: 26-may-2022].
- [3]. A. Martín Meneses, «Blockchain: aplicación en el Registro de la Propiedad e implicaciones en materia probatoria», Universidad de La Laguna, Grado en Derecho, 2021.
- [4]. J. C. Alcaide, «Blockchain para registro de la propiedad: países pioneros en su uso», *Enzymeadvisinggroup.com*. [En línea]. Disponible en: <https://blog.enzymeadvisinggroup.com/blockchain-registro-propiedad>. [Accedido: 27-may-2022].
- [5]. M. Á. Uriondo, «Más de 70 grandes empresas lanzan Alastria, un “blockchain” para unirlos a todos», *El Español*, 17-oct-2017. [En línea]. Disponible en: https://www.elespanol.com/invertia/empresas/20171017/254974760_0.html. [Accedido: 27-may-2022].
- [6]. K. Future, «The Land Registry in the blockchain - testbed», mar. 2017.
- [7]. I. Karamitsos, M. Papadaki, y N. B. A. Barghuthi, «Design of the blockchain smart contract: A use case for real estate», *J. Inf. Secur.*, vol. 09, n.º 03, pp. 177-190, 2018.
- [8]. R. G. Torres, «Bancos de Japón probarán sistema de liquidación interbancario basado en Hyperledger Fabric», *CriptoNoticias - Noticias de Bitcoin, Ethereum y criptomonedas*, 29-oct-2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.criptonoticias.com/negocios/bancos-japon-probaran-sistema-liquidacion-interbancario-hyperledger-fabric/>. [Accedido: 27-may-2022].

- [9]. S. Higgins, «UK Land Registry plans to test blockchain in digital push», *CoinDesk*, 12-may-2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.coindesk.com/markets/2017/05/12/uk-land-registry-plans-to-test-blockchain-in-digital-push/>. [Accedido: 27-may-2022].
- [10]. J. Quijje, «La India creará registro de propiedades de tierras con Blockchain», *TekCrispy*, 10-oct-2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.tekcrispy.com/2017/10/10/la-india-propiedades-tierras-blockchain/>. [Accedido: 27-may-2022].
- [11]. M. E. Martínez, «Overstock usará Blockchain para el registro digital de tierras en México», *DiarioBitcoin*, 05-feb-2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.diariobitcoin.com/paises/norte-america/mexico/overstock-usara-blockchain-para-el-registro-digital-de-tierras-en-mexico/>. [Accedido: 27-may-2022].
- [12]. S. Attah, «Meet Africa's blockchain startups: Bitland», *BitcoinAfrica.io*, 23-ago-2017. [En línea]. Disponible en: <https://bitcoinafrica.io/2017/08/23/africas-blockchain-startups-bitland/>. [Accedido: 27-may-2022].
- [13]. «Necesidad de inscripción del Libro del Edificio en el Registro de la Propiedad. Por Fernando Acedo-Rico - Blog Corpme - Corpme», *Blog Corpme*. [En línea]. Disponible en: <https://blog.registradores.org/-/necesidad-de-inscripcion-del-libro-del-edificio-en-el-registro-de-la-propiedad-por-fernando-acedo-rico>. [Accedido: 28-may-2022].
- [14]. «BOE.es - BOE-A-1999-21567 Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación», *Boe.es*. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1999-21567&p=20150715&tn=1>. [Accedido: 28-may-2022].
- [15]. «BOE.es - BOE-A-1946-2453 Decreto de 8 de febrero de 1946 por el que se aprueba la nueva redacción oficial de la Ley Hipotecaria», *Boe.es*. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1946-2453>. [Accedido: 28-may-2022].
- [16]. C. A. T. Flores, «Posibles ejemplos de uso de la Blockchain en el ámbito Registral», 10-ene-2021.

- [17]. P. El y Y. Europeo, «REGLAMENTO (UE) N o 910/2014 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 23 de julio de 2014 relativo a la identificación electrónica y los servicios de confianza para las transacciones electrónicas en el mercado interior y por la que se deroga la Directiva 1999/93/CE», *Boe.es*. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2014/257/L00073-00114.pdf>. [Accedido: 28-may-2022].
- [18]. «Una plataforma Blockchain para la Empresa — documentación de hyperledger-fabricdocs - master», *Readthedocs.io*. [En línea]. Disponible en: <https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/es/latest/>. [Accedido: 29-may-2022].
- [19]. *Test-network at main · hyperledger/fabric-samples*.
- [20]. *Asset-transfer-basic/rest-api-typescript at main · hyperledger/fabric-samples*.
- [21]. *Github.com*. [En línea]. Disponible en: <https://github.com/Universidad-de-La-Laguna/catedraBOB-spc19-api>. [Accedido: 01-jun-2022].
- [22]. «Flexy material angular Free», *WrapPixel*. [En línea]. Disponible en: <https://www.wrappixel.com/templates/flexy-angular-admin-free/>. [Accedido: 01-jun-2022].