INTERACCIÓN DE UN SMART CONTRACT CON UNA APP MÓVIL

INTERACTION OF A SMART CONTRACT WITH A MOBILE APP

PABLO BLANCO PERIS

MÁSTER EN INGENIERÍA INFORMÁTICA, FACULTAD DE INFORMÁTICA,
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

Trabajo Fin de Máster en Ingeniería Informática

15/06/2019

Calificación: 7

Convocatoria: Junio-Julio

Director:

Adrián Riesco Rodríguez

Autorización de Difusión

PABLO BLANCO PERIS

15/06/2019

El abajo firmante, matriculado en el Máster en Investigación en Informática de la Facultad de Informática, autoriza a la Universidad Complutense de Madrid (UCM) a difundir y utilizar con fines académicos, no comerciales y mencionando expresamente a su autor el presente Trabajo Fin de Máster: "INTERACCIÓN DE UN SMART CONTRACT CON UNA APP MÓVIL", realizado durante el curso académico 2018-2019 bajo la dirección de Adrián Riesco Rodríguez en el Departamento de Sistemas Informáticos y Computación, y a la Biblioteca de la UCM a depositarlo en el Archivo Institucional E-Prints Complutense con el objeto de incrementar la difusión, uso e impacto del trabajo en Internet y garantizar su preservación y acceso a largo plazo.

Resumen en castellano

Durante los últimos años ha crecido mucho el interés en los *Smart contracts* y en *blockchain* por las repercusiones que pueden llegar a tener en un futuro en la sociedad y la repercusión que puede llegar a tener la informática en este ámbito. La llegada del Bitcoin a la sociedad ha abierto un abanico de ideas y posibilidades respecto a procesos y aplicaciones descentralizadas que pueden ser cubiertas por este tipo de software, eliminando el rol de entidades certificadoras terceras a la hora de realizar transacciones y automatizando acciones con el objetivo de reducir tiempos y costes.

En este trabajo se ha realizado una investigación profunda de estas tecnologías y se ha llevado a cabo la implementación de una plataforma de alquiler de vehículos en donde la gestión de la información recae en un contrato inteligente desplegado en la *blockchain* Ethereum. La plataforma cuenta también con un *front-end* que ha sido desarrollado para dispositivos móviles con sistema operativo iOS. Esta plataforma tiene también gestión de usuarios ya que existen dos tipos de roles: usuario y manager.

El resultado final ha sido satisfactorio ya que se ha conseguido implementar el objetivo principal del proyecto que consistía en la conexión de distintas tecnologías de una manera estable. Esto ha sido posible gracias al uso de distintas herramientas de conexiones sin las cuales no habría sido posible comunicar la app móvil con el *Smart contract*.

Palabras clave

Contratos inteligentes, cadenas de bloques, Ethereum

Abstract

During the last years the interest in Smart contracts and in blockchain has grown a lot due to the repercussions that can have in the future in the society and the repercussion that computer science can have in this field. The arrival of Bitcoin in society has opened a range of ideas and possibilities regarding decentralized processes and applications that can be covered by this type of software, eliminating the role of third-party certifying entities when making transactions and automating actions with the aim of reduce times and costs.

In this work an in-depth investigation of these technologies has been carried out and a vehicle renting platform has been implemented where the information management falls on a Smart contract deployed in the Ethereum blockchain. The platform also has a front-end that has been developed for mobile devices with iOS operating system. This platform also has user management since there are two types of roles: user and manager.

The final result has been satisfactory and the main objective of the project has been implemented, which consists of connecting different technologies in a stable manner. This has been possible thanks to the use of different connection tools without which it would not have been possible to communicate the mobile app with the Smart contract.

Keywords

Smart contracts, blockchain, Ethereum

Índice de contenidos

Capítulo 1 - Introducción y motivación

A pesar de que el término blockchain nació entre los años 2008 y 2009 por parte de la persona u organización llamada Satoshi Nakamoto [1], empezó a escucharse con más fuerza con la revolución del *bitcoin* y las criptomonedas en el año 2017 en el que llegó a valer 20.000$ cada unidad de la moneda virtual *bitcoin* o también conocida BTC [2].

Además de los aspectos técnicos que representa este concepto es una palabra que está de moda en los últimos años. Aunque blockchain significa "cadena de bloques", el propio nombre no deja muy claro qué es exactamente. Sin embargo, es un nuevo concepto en la informática que plantea una revolución en una gran cantidad de ámbitos de la vida cotidiana como por ejemplo la economía.
Uno de los principales objetivos de esta tecnología es eliminar a los intermediarios de las transacciones de dinero. Un ejemplo muy sencillo podría ser:
Una persona A quiere enviar dinero a una persona B; una de las soluciones más cómodas que existe a día de hoy sería mediante una transferencia bancaria. Sin embargo, para ello es necesario la intervención de terceros, en este caso los bancos, unas entidades centralizadas de las que se depende a la hora de realizar transacciones de capital de este tipo.
Esta gestión necesariamente cuenta con roles que podrían no aparecer en caso de que esta operación se hubiera llevado a cabo a través de una cadena de bloques, en donde se eliminan los intermediarios y se descentraliza la gestión. Aplicando estas operaciones en una *blockchain* provoca que el control del proceso sea de los usuarios y no de entidades externas.

Se podría entender de manera resumida y sencilla como una enorme base de datos o libro de cuentas en el que todos los registros están entrelazados entre sí y cifrados para mantener la seguridad y privacidad de las transacciones así como la identidad de los propios usuarios que participan en ellas. Para que todo este sistema sea estable, fiable y funcione correctamente necesita una red P2P de nodos comunicados entre ellos. Todos estos nodos contienen la misma *blockchain*, de manera que los bloques que se añaden a la cadena quedan registrados de forma permanente en ella y no pueden ser modificados. Cada vez que se crea un bloque válido nuevo se añade a la cadena y se sincroniza con el resto de nodos que comprueban la validez del mismo. Al depender todos los bloques del anterior se garantiza la seguridad ante un intento de fraude por parte de algún nodo, ya que el resto de nodos no aceptarían el nuevo bloque.
Sin embargo, las transacciones de dinero no son el único ámbito donde puede aplicarse el *blockchain.* La red Ethereum propone una solución en la que las transacciones pueden ser *Smart contracts* o contratos inteligentes, que permiten definir transacciones de distintos tipos sustituyendo productos y servicios que dependen de terceros.

Desde el 2017 la investigación de esta tecnología se ha ido incrementando progresivamente y ya está presente en una gran cantidad de proyectos de diferentes ámbitos. Estos *Smart contracts* ofrecen soluciones útiles a día de hoy y ya se están usando en múltiples ámbitos con diferentes objetivos:

- El gobierno japonés cuenta con un proyecto basado en registros de propiedad a través de *blockchain* [3].
- La conocida aplicación Spotify compró en 2017 una empresa especializada en esta tecnología para abordar una solución en la gestión de pagos y autorías de su plataforma [4].

- En sanidad, la mayoría de tecnólogos y profesionales de la salud ven en las cadenas de bloques la opción ideal para registrar historiales médicos de una manera segura y confidencial [5].
- En servicios públicos y gubernamentales, ya existen plataformas *blockchain* orientadas a contabilizar los votos en unas elecciones presidenciales de manera transparente y evitando fraudes [6].

El objetivo principal de este trabajo es combinar distintas tecnologías punteras actuales para desarrollar un proyecto útil y estable que propone una solución de negocio que puede ser utilizada a día de hoy en un ámbito concreto.

El resultado que se presenta en este proyecto implementa una plataforma completa llamada CarChain que proporciona un servicio de alquiler de coches. A través de un *Smart contract* dentro de la red *blockchain* Ethereum [7] como *back-end*, que se encarga de la gestión de la información dentro de la red de pruebas Rinkeby [8]. La comunicación del usuario con el *back-end* se realiza a través de una aplicación móvil para dispositivos móviles con sistema operativos iOS como *front-end,* que se encarga de gestionar las interfaces visuales, y la interacción y conexión con el *Smart contract*.
El proyecto CarChain se encuentra a través del repositorio de GitHub: https://github.com/PabloBlanco10/BlockchainApp. Este proyecto se rige por la licencia MIT, que es una licencia de software permisiva por lo que permite la reutilización del software.

La solución de negocio descrita se asemeja a las ya conocidas empresas Car2Go [9] y eMov [10]. Sin embargo, como novedad a estos sistemas existentes se propone una investigación de la optimización del sistema y las ventajas que podría suponer mantener la gestión de la información y los datos del alquiler de los vehículos a través de un contrato inteligente.

Dentro de la plataforma existen dos roles diferenciados, el rol de manager y el rol de usuario. El rol de manager cuenta con la funcionalidad de registrar nuevos coches, pero sin embargo no puede alquilar coches, ya que su objetivo únicamente es gestionar los vehículos de la plataforma a través de la aplicación móvil. El rol de usuario no puede registrar nuevos coches, sus capacidades dentro de la aplicación se limitan a alquiler y devolución de coches y añadir crédito a su cuenta en caso de que quiera alquilar una mayor cantidad de coches. Cada alquiler cuesta un crédito y un usuario solo puede alquilar un coche al mismo tiempo. La aplicación tiene pantallas de *login* y registro de usuarios.

La pantalla principal de la aplicación de un usuario logado consiste en un mapa centrado en la ubicación del usuario siempre y cuando este haya consentido los permisos de ubicación del dispositivo. En el mapa aparecen los coches disponibles alrededor del usuario y se puede elegir cualquier coche disponible. En caso de que el usuario alquile un coche la pantalla del mapa desaparece y se ve una vista que muestra la matrícula del coche alquilado y la opción de devolverlo. Existe también una pantalla de perfil del usuario en el que muestra su ID de usuario, su dirección de mail, el crédito disponible con el que cuenta y si tiene algún coche alquilado o no. Además hay una pantalla en el que el usuario puede añadir crédito a su cuenta. En el menú principal también está la opción de *logout* en caso de que el usuario quiera salir de su cuenta.

En las siguientes secciones de este documento se detalla toda la funcionalidad de la aplicación y de la gestión de la información tanto de alquiler de vehículos como de gestión de usuarios. También se pueden ver capturas de imágenes de las diferentes secciones y tecnologías con las que cuenta CarChain.

En el capítulo 2 se encuentran descritas las tecnologías utilizadas en este proyecto sin entrar en detalle en como se han usado para la implementación de la plataforma.
En el capítulo 3 se describe el diseño y la implementación del proyecto, es decir, la arquitectura global que sigue el proyecto, se entra en profundidad en las distintas partes del proyecto y los detalles de como se han conectado las tecnologías empleadas para el correcto funcionamiento de la plataforma. También aparecen ejemplos de las interacciones con el *Smart contract* desplegado y con el que se trata toda la gestión de la información acerca del alquiler de vehículos. Se muestran capturas de pantalla de los diferentes IDEs que se han utilizado y se muestran secciones de código de las distintas partes.
En el capítulo 4 se muestra una demo visual de la aplicación así como flujos que sigue y su comportamiento ante distintas situaciones.
En el capítulo 5 se detallan las conclusiones finales una vez implementada la plataforma al completo y probada y describe ejemplos de trabajo futuro.

Capítulo 2 - Preliminares

En esta sección se incluye una descripción detallada de las tecnologías que han sido utilizadas para llevar a cabo la realización del proyecto descrito en este documento.
La tecnología principal en la que se basa este proyecto es *blockchain* [11], también conocida como cadena de bloques. El término blockchain se aplicó por primera vez en 2009 como parte del protocolo Bitcoin [1], aunque no hace mucho que ha empezado a escucharse con fuerza en la sociedad. Sin embargo, la mayoría de la gente no sabe exactamente qué es el blockchain, para qué sirve o cómo funciona. En este trabajo se persigue el objetivo de explicar el blockchain con la mayor claridad posible para que cualquier persona con unos conocimientos básicos en informática sea capaz de entender sus beneficios y los usos que se le puede dar.
Esta tecnología se utiliza dentro de este proyecto para soportar la estructura de datos y la información, a través de un Smart contract [12] en el que se va a mantener la información dentro de la blockchain Ethereum [13], concretamente en Rinkeby [8], una cadena de bloques de *testing* proporcionada por Ethereum enfocada a desarrolladores. Los Smart contracts son scripts que residen en la cadena de bloques que permiten la automatización de procesos de varios pasos.

2.1 Blockchain

Historia

El concepto de moneda digital descentralizada, así como las aplicaciones alternativas o los registros de propiedad, han existido durante décadas. Los protocolos anónimos de efectivo electrónico de los años 80 y 90, que dependían principalmente de una primitiva criptográfica conocida como el cegamiento de Chaumian [14], proporcionaron una moneda con un alto grado de privacidad, pero los protocolos en gran parte no lograron ganar terreno debido a su dependencia de un intermediario centralizado. En 1998, Wei Dai se convirtió en la primera persona en introducir la idea de crear dinero mediante la resolución de acertijos computacionales así como en un consenso descentralizado [15], pero la propuesta fue escasa en detalles sobre cómo se podría implementar realmente el consenso descentralizado. Posteriormente, en 2005, Hal Finney introdujo un concepto de un sistema para crear un concepto de criptomoneda, pero no alcanzó el ideal al confiar en la computación confiable como *back-end*. En 2009, Satoshi Nakamoto implementó por primera vez una moneda descentralizada en la práctica, combinando las primitivas establecidas para administrar la propiedad a través de la criptografía de clave pública con un algoritmo de consenso para realizar un seguimiento de quién posee las monedas, conocida como prueba de trabajo *o proof of work* [1].
El mecanismo detrás de la prueba de trabajo fue un gran avance en el espacio porque resolvió simultáneamente dos problemas. Primero, proporcionó un algoritmo de consenso simple y moderadamente efectivo, que permite a los nodos de la red acordar colectivamente un conjunto de actualizaciones canónicas del estado del libro mayor de Bitcoin. En segundo lugar, proporcionó un mecanismo para permitir la libre entrada en el proceso de consenso, resolviendo el problema de decidir quién puede influir en el consenso y, al mismo tiempo, evitar los ataques de sibila. Lo hace sustituyendo una barrera formal a la participación, como el requisito de estar registrado como una entidad única en una lista particular, con una barrera económica: el peso de un solo nodo en el proceso de votación por consenso es directamente proporcional a la potencia de cálculo. que trae el nodo. Desde entonces, se ha propuesto un enfoque alternativo *llamado proof of stake*, que

calcula el peso de un nodo como proporcional a sus tenencias de moneda y no a recursos computacionales [13].

¿Qué es blockchain?

Blockchain es una estructura de datos en la que la información contenida se agrupa en secuencias de bloques a los que se va agregando información relacionada con el bloque anterior, que, a su vez, contiene información relacionada con el bloque anterior a éste y así recursivamente, de manera que, usando técnicas criptográficas de clave pública con un algoritmo de consenso, si un bloque es modificado modificaría todos los bloques posteriores, provocando así su invalidez. Estas cadenas de bloques se reparten entre nodos distribuidos en la red, comúnmente llamados mineros. Esta estructura persigue el objetivo de mantener una descentralización de la información y evitar dependencias con ciertos nodos, de manera que ningún nodo está por encima de otro y ningún nodo es indispensable para el correcto funcionamiento de la cadena, manteniendo así una estructura jerárquica horizontal. El intercambio de información se realiza de manera que, cuando un nodo añade un nuevo bloque, se lo comunica al resto de mineros de la red para que actualicen su cadena de bloques y así contengan todos la misma información.

De esta manera se crea un entorno distribuido en donde la cadena de bloques ejerce como una base de datos pública no con capacidad de asegurar la veracidad del contenido. Constantemente este libro digital de registros va creciendo añadiendo bloques a la cadena, las operaciones se van registrando de manera cronológica en la propia cadena, y se permite realizar un seguimiento sin la necesidad de registros centrales. Es importante destacar que los bloques tienen un orden cronológico dentro de la cadena y esto no se puede modificar ya que los bloques están interrelacionados entre ellos. Por ello, una vez que un bloque es considerado válido dentro de la red de nodos, siempre permanecerá en la cadena de bloques.

La tecnología blockchain es muy adecuada para los entornos en los que se quiera almacenar información de manera cronológica y se quiera garantizar la integridad de la información, imposibilitando la modificación de la información con el objetivo de garantizar una confianza distribuida en lugar de que quede depositada en una entidad certificadora de confianza que se encarga de garantizar la seguridad de las comunicaciones y las transacciones digitales como podría ser una entidad financiera. Sirven para verificar las identidades de los participantes y evitar fraudes mediante claves públicas y privadas [16]. Un ejemplo de autoridad certificadora española es la Fábrica Nacional de Moneda y Timbre (FNMT).

Gracias a las funciones *hash*[1] y la criptografía asimétrica que se emplean es posible implementar un registro contable distribuido, llamado *ledger*, que garantiza la seguridad y la integridad del dinero digital. Es por ello por lo que se está apostando a día de hoy en esta tecnología con las criptomonedas.

A día de hoy es habitual encontrar noticias relacionadas con la tecnología blockchain y las DApps (aplicaciones descentralizadas) y la fuerte inversión que se está movilizando en este sector. Por ejemplo, las DApps movilizaron 6.700 millones de dólares en 2018 [17]. El periódico digital Criptonoticias cubre los hechos más relevantes a las tecnologías Bitcoin ofreciendo noticias, avances y tendencias sobre estos temas [18].

[1] Una función *hash* es una función computable mediante un algoritmo. Es una operación criptográfica que genera una especie de firma digital de un contenido.

Para evitar una entidad de confianza que centralice la información a la hora de garantizar la integridad de los datos por parte de todos los participantes de la red es necesario seguir un protocolo adecuado para todas las operaciones que se ejecuten sobre la *blockchain*. Gracias a esto se dice que la seguridad y la confianza de la tecnología dentro de todo el sistema se genera, se establece y se consolida por los propios miembros (los mineros). Incluso en un entorno en el que exista una minoría de nodos maliciosos por la red (nodos *sybil*) sería necesario que un atacante cubriera en mayoría la potencia de cómputo y presencia en la red que la que sumaría el resto de nodos combinados.

Gracias a estas características de confianza distribuida y mantenimiento de la integridad de los datos esta tecnología es útil en diferentes escenarios, como por ejemplo:

- Almacenamiento de la información, mediante la replicación de la información de la cadena.
- Confirmación de datos, mediante un protocolo de consenso entre los nodos participantes. El tipo de algoritmo más utilizado es el de prueba de trabajo (en inglés *proof of work*), en el que existe un proceso de validación de los nuevos bloques llamado minería.

Sin embargo, el blockchain está abarcando la mayoría de su peso en el ámbito financiero, en transacciones de dinero digital. Es por ello que no hace mucho comenzó la tendencia de las criptomonedas, que ha tenido y tiene mucha influencia a nivel mundial.

Tipos de blockchain

Existen diferentes tipos de *blockchain*: *blockchains* públicas, *blockchains* privadas y *blockchains* híbridas. Cada una de ellas tiene características diferentes y, por tanto, tienen usos diferentes entre sí.

Blockchains públicas

Las *blockchains* públicas son accesibles para todo el mundo, lo único que se necesita para acceder a ellas es un ordenador y una conexión a internet. Bitcoin fue la primera *blockchain* pública, con la que nació en 2009 esta tecnología [1]. De hecho, a día de hoy, esta criptomoneda es la más fuerte y las más consolidada de todas las *blockchains* públicas que se encuentran en activo.
Las blockchains públicas se caracterizan por ser:

- **Descentralizadas**: evitando de esta manera la necesidad de una entidad central de confianza como podría ser un banco.
- **Distribuidas:** ya que, cada nodo de la red cuenta con una copia exacta de la cadena de bloques.
- **Consensuadas**: hay un consenso generalizado marcado por unas reglas para que las operaciones sean tomadas como válidas. Como por ejemplo un usuario no podría ejecutar una transacción en la que tratara de enviar más dinero del que realmente contiene.
- **Abiertas**: de manera que todo usuario que quiera es libre de participar de manera sencilla descargando el software necesario y realizando transacciones.

- **Seguras**: su seguridad es representada con la "verdad" que se encuentra en la integridad de los datos que se encuentran en ellas, así como la imposibilidad de modificación de datos anteriores.

Las cadenas de bloques públicas son mantenidas por todo aquel que quiera participar. En el caso de los Bitcoin, esto es posible gracias a los mineros, que deben contar con equipos con mucha capacidad de cómputo y por lo tanto gastar electricidad para poder mantenerlo. Sin embargo, esto no lo hacen gratuitamente, sino que existen ciertas recompensas cuando un nodo crea un bloque nuevo y lo añade a la cadena, por lo que se trabaja por incentivos. Esta parte se explicará con más detalle en la sección de Bitcoin.

Este proyecto utiliza la *blockchain* Ethereum, que es una de las *blockchains* públicas más conocidas, ya que ha sido el caso más exitoso de *blockchain* pública por detrás de Bitcoin. Cabe mencionar cuando se habla sobre *blockchains* públicas un grupo de criptomonedas que son mundialmente conocidas como Litecoin [19] o Monero [20], ya que tienen una gran repercusión en el mercado de las criptomonedas y están continuamente moviéndose entre los usuarios de la red a través de transacciones. A este tipo de cadenas también se las conoce como cadenas de bloques sin permisos.

Blockchains privadas

Estas cadenas de bloques se caracterizan porque el proceso de consenso que contienen, así como su participación, están limitados. De esta manera, solo ciertos usuarios tienen los derechos necesarios para acceder a ellas.

En estas cadenas es necesario contar con permisos para llevar a cabo transacciones. Por lo que, la lectura de la información de la *blockchain* esté limitada a estos usuarios. Existen diferentes tipos de permisos, por ejemplo pueden existir usuarios que solo sean capaces de leer la información y pueden existir por otro lado usuarios con la capacidad de acceder a la información y de realizar transacciones.

Sin embargo, estas cadenas de bloques dejan de lado inevitablemente la descentralización del poder por lo que ya no se representaría el sistema como totalmente descentralizado.

Dentro de este grupo de *blockchain* existen variaciones, de manera que una cadena de bloques privada puede contar con un nivel de descentralización mayor o menor según la cantidad de entidades o grupos que formen parte del consenso.

Cuanta mayor sea la cantidad de figuras que forman parte del consenso, mayor nivel de descentralización. Por lo que existen *blockchain* privadas con una sola figura o entidad en el consenso que tenga permisos de escritura provocando así una cadena completamente privada y parcialmente centralizada.

Estas cadenas cuentan con las siguientes características:

- **Privadas:** no son accesibles para todo el mundo por lo que para mantenerlas es necesario definir unas entidades preseleccionadas**.**
- **Intereses:** los usuarios que mantienen estas bases de datos lo hacen por intereses propios como puede ser reputación.
- **Jerarquía:** existe una jerarquía de poder y permisos dentro de la cadena por lo que no todos los usuarios tienen por defecto los permisos de escritura. Además, el contenido de los bloques no es accesible para todos los participantes.

Algunas de las *blockchains* privadas más famosas a día de hoy son:

- Hyperledger [21], para la fundación Linux.
- R3 [22], que se trata de un consorcio de bancos a nivel internacional para desarrollar soluciones bancarias a través de una *blockchain* privada.
- Ripple [23], una criptomoneda para realizar transferencias de dinero digital a nivel internacional.

Blockchains híbridas

Este tipo de cadenas de bloques son una combinación de las públicas y las privadas. En estas blockchains los nodos que participan han sido invitados previamente, sin embargo, todas las transacciones son públicas. De esta manera, los nodos se encargan de mantener y proporcionar seguridad a esta cadena, a pesar de que las transacciones sean públicas para el resto de usuarios.
Algunos ejemplos de blockchains híbridas son:

- BigchainDB [24], que permite a los desarrolladores y empresas implementar la prueba de conceptos, plataformas y aplicaciones de blockchain con una base de datos de blockchain, admitiendo una amplia gama de industrias y casos de uso.
- Evernym [25], que ofrece la posibilidad de presentar información de identidad de cualquier tipo a cualquier otra persona en el mundo.

Proof-of-work

La prueba de trabajo implica la búsqueda de un valor que, cuando se aplica el hash, como por ejemplo con SHA-256, el resultado debe comenzar con un número de ceros definido en el convenio, el cual puede ir variando. El trabajo promedio requerido es exponencial con respecto al número de ceros requeridos y se puede verificar ejecutando un solo hash. Una vez que la CPU ha generado un esfuerzo para cumplir con la prueba de trabajo, el bloque no se puede cambiar sin rehacer el trabajo. Como los bloques posteriores se encadenan después de esto, el trabajo para cambiar el bloque incluiría rehacer todos los bloques posteriores.
La prueba de trabajo también resuelve el problema de determinar la representación en la toma de decisiones mayoritaria. Si la mayoría se basara en que una única dirección IP representa un voto, podría ser falsificada por cualquier persona que pueda asignar muchas IPs. La prueba de trabajo es esencialmente de un voto por CPU. La decisión mayoritaria está representada por la cadena más larga, que cuenta con el mayor esfuerzo de prueba de trabajo invertido en ella. Si la mayoría de la potencia de la CPU está controlada por nodos honestos, la cadena honesta crecerá más rápido y superará a cualquier cadena competidora.
Para modificar un bloque anterior, un atacante tendría que rehacer la prueba de trabajo del bloque y todos los bloques posteriores [1].

2.2 Ethereum

Ethereum es una red pública y descentralizada de cadenas de bloques capaz de ejecutar código de programación de cualquier aplicación descentralizada. Esta plataforma permite compartir información con todo el mundo manteniendo su integridad ya que dicha información no puede ser manipulada ni modificada.

El objetivo de esta *blockchain* es crear un protocolo alternativo para la creación de aplicaciones descentralizadas, proporcionando un conjunto diferente de concesiones que pueden ser muy útiles para una gran clase de aplicaciones descentralizadas, con especial énfasis en situaciones en las que el rápido desarrollo, la seguridad para las aplicaciones y la capacidad de diferentes aplicaciones para interactuar de manera muy eficiente son importantes. Ethereum hace esto construyendo lo que es esencialmente la última capa fundamental abstracta: una cadena de bloques con un lenguaje de programación Turing-completo incorporado, que permite a cualquiera escribir contratos inteligentes y aplicaciones descentralizadas donde pueden crear sus propias reglas arbitrarias de propiedad, formatos de transacción y funciones de transición de estado. Los contratos inteligentes, o *Smart contracts*, también se pueden construir sobre la plataforma, con mucho más poder que el que ofrecen las secuencias de comandos de Bitcoin, que no son Turing-completas [26].

Esta *blockchain*, en su conjunto, puede verse como una máquina de estado basada en transacciones. En primer lugar está el estado de génesis, que es el estado inicial de la *blockchain* y con el tiempo se van ejecutando incrementalmente transacciones. Los estados puede incluir información como saldos de cuentas, acuerdos, datos pertenecientes al mundo físico, etc. En resumen, todo lo que actualmente puede ser representado por una computadora es admisible. También existen los cambios de estado no válidos como por ejemplo, reducir el saldo de una cuenta sin un aumento igual y opuesto en otras cuentas, o una transacción de un importe superior al importe que tiene el remitente.

Ethereum tiene una moneda intrínseca denominada *Ether*, también conocida por las siglas ETH. La subdenominación más pequeña del *Ether*, y por lo tanto aquella en la que se cuentan todos los valores enteros de la moneda, se hace llamar *Wei*. Un *Ether* se define como 1018 *Wei*. Existen otras subdenominaciones con sus correspondientes valores respectivos al Ether, sin embargo *Ether* y *Wei* son las más comunes y las más utilizadas [27].

Gas y pagos en Ethereum

Para evitar problemas de uso indebido de la red todos los cálculos programables en Ethereum están sujetos a tarifas. La tabla de tarifas se especifica en unidades de gas. Cualquier fragmento de cómputo programable como crear contratos, hacer llamadas a funciones, utilizar y acceder a la cuenta, ejecutar operaciones o realizar transacciones tiene un costo universalmente acordado en términos de gas. Cada transacción tiene una cantidad específica de gas asociada denominada *gasLimit*. Esta es la cantidad de gas que se compra implícitamente del saldo de la cuenta del remitente. La transacción es considerada inválida si el saldo de la cuenta no puede soportar la compra del gas necesario. Se llama *gasLimit* ya que cualquier gas no utilizado al final de la transacción se reembolsa (a la misma tasa de compra) a la cuenta del remitente. El gas no existe fuera de la ejecución de una transacción.

En general, el *Ether* utilizado para comprar gas que no se reembolsa se entrega a la dirección del beneficiario, la dirección de una cuenta que generalmente está bajo el control del minero. Los operadores pueden especificar el precio del gas que deseen, sin embargo, los mineros pueden ignorar las transacciones que elijan. Por lo tanto, un precio de gas más alto en una transacción le costará más al remitente en términos de *Ether* y le dará un mayor valor al minero y, por ello, será más probable que sea seleccionado por más mineros para ser finalmente el bloque correcto. Por regla general, los mineros elegirán anunciar el precio mínimo del gas para el cual ejecutarán las

transacciones y los operadores serán libres de cubrir estos precios para determinar qué precio del gas ofrecerá. Dado que habrá una distribución (ponderada) de los precios mínimos aceptables del gas, los mineros tendrán necesariamente una compensación entre bajar el precio del gas y maximizar la posibilidad de que su transacción se realice de manera oportuna [27].

2.3 Smart Contracts

Los *Smart contracts* son *scripts* que residen en la blockchain de manera que son capaces ejecutar código dentro de la propia cadena bloques una vez desplegados. Estos contratos inteligentes aprovechan las propiedades de las blockchain como la confiabilidad dentro de la cadena y las técnicas criptográficas empleadas para las interacciones con el fin de ofrecer flujos de trabajo distribuidos y automatizados. Esto provoca que los *Smart contracts* sean un punto fuerte en la investigación dentro del dominio del Internet de las Cosas para nuevos casos de uso.
Al pertenecer a la cadena y estar en un bloque concreto estos *Smart contracts* tienen una dirección única, la cual se necesita para la conexión y la interacción con ellos. Estos contratos se ejecutan de manera independiente y automática en cada nodo de la red, por lo que cada nodo de la red habilitado para ello ejecuta una máquina virtual con la capacidad de ejecutar el código que se encuentra en ellos. De esta manera la *blockchain* actúa como una máquina virtual distribuida [12].

Los Smart contracts se programan en el lenguaje Solidity, que usan un concepto similar a las clases en los lenguajes orientados a objetos pero en lugar de utilizar la palabra `class` se usa `contract`, indicando que se van a crear contratos.
Existen funciones *get* y *set* para leer y escribir en variables, estructuras de datos y tipos enumerados. También puede utilizarse la herencia entre contratos y existe lo que se llama modificadores (de funciones), que sirven para que las funciones comprueben que se cumple cierta condición como requisito para ejecutarse. También cuenta con eventos que se pueden interpretar como disparadores (*triggers*) que reaccionan a algún comportamiento con algún objetivo.

Todos los contratos necesitan indicar en la primera línea de su archivo la versión del compilador para la que está escrito, ya que, al estar esta tecnología en continua evolución es muy cambiante por el momento y salen nuevas versión de compilación cada pocos intervalos de tiempo. Ethereum proporciona un compilador online llamado Remix [28] en el que permite desarrollar *Smart contracts*, probarlos, depurarlos y desplegarlos [29].

Cuando se despliega un contrato o se interactúa con uno ya desplegado en la red se gasta gas, ya que los nodos deben emplear energía de computo para ejecutar las operaciones necesarias y este coste debe ser pagado por el usuario que está interactuando. Existe una tabla de costo de gas dependiendo de la instrucción que se tenga que ejecutar. Este gas se podría ver como una comisión de los nodos por realizar las operaciones necesarias a la hora de desplegar un contrato o de interactuar con él. De esta manera se "paga" a los mineros de la red como recompensa por los recursos utilizados (*hardware*, electricidad y tiempo) [30].

Estos fragmentos de código tienen ciertas ventajas, como por ejemplo: seguridad, confianza y autonomía. Gracias a ellos no es necesario recurrir a terceros para ciertas transacciones. Esto implica evitar la gestión de papeles que ocasionaría un tercero, por lo que optimizan la velocidad

de las transacciones. Además es transparente para todas las partes ya que se encuentran en una red pública.
Sin embargo, cuenta con la desventaja o ventaja, según el punto de mira desde el que se enfoque, de ser inmodificable, una vez el contrato esta desplegado no puede cambiarse, es por ello que antes de desplegar el *Smart contract* definitivo tiene que ser analizado muy detalladamente y exhaustivamente probado para evitar cualquier tipo de fallo que pueda ocurrir en un futuro.

Algunas de las soluciones más conocidas, por el momento, para automatizar operaciones y gestiones gracias a este tipo de software son:

- Automatización de pagos.
- Registros y cambios de propiedad.
- Propiedades intelectuales.
- Apuestas.
- Compras automáticas.
- Votaciones.

A pesar del protagonismo que están ganando estos contratos inteligentes hoy en día, queda mucho por evolucionar en esta tecnología para explotar aún más sus cualidades y beneficios, por lo que, con el tiempo se abordarán nuevos casos de uso gracias a las investigaciones e inversiones que existen a día de hoy sobre los *Smart contracts*.

En el capítulo 3, en la sección de back-end y DApps se encuentran ejemplos de interacciones con Smart contracts.

Capítulo 3 - Diseño e implementación

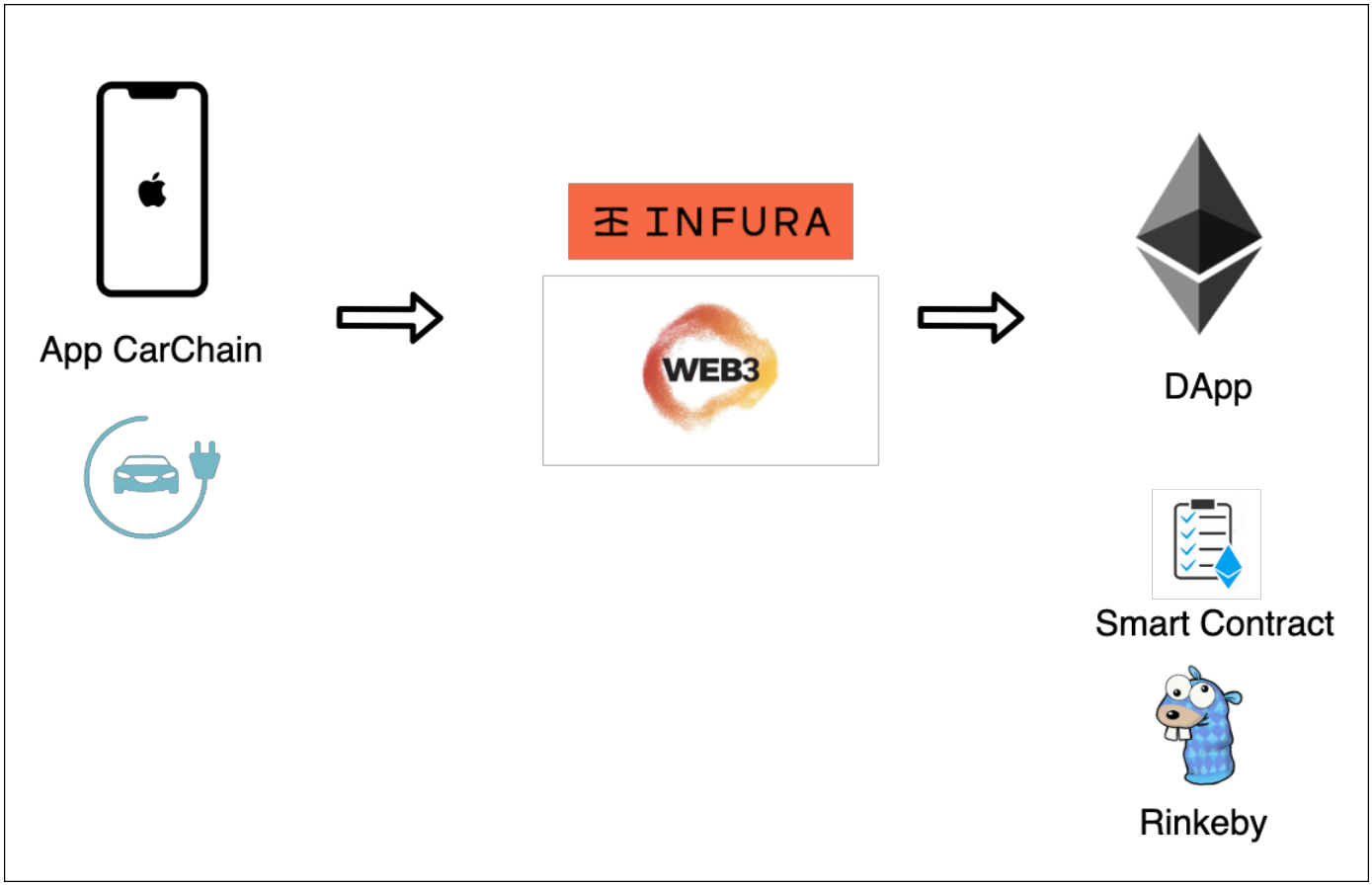
En esta sección se describe técnicamente el diseño completo de la plataforma ofreciendo una visión de la arquitectura del proyecto al completo y las tecnologías que han sido utilizadas para su implementación. Tal y como se ha mencionado anteriormente, se han desarrollado dos secciones bien diferenciadas, que podrían dividirse en dos subproyectos: por una parte el *front-end* y por otra parte el *back-end*.

El *front-end* del proyecto consiste en la parte visual del proyecto, en este caso la aplicación móvil para dispositivos iOS. La totalidad del proyecto ha sido implementado con el lenguaje Swift en el entorno de desarrollo Xcode.
Swift, creado por Apple y presentado en 2014, es un lenguaje de programación orientado a objetos que cuenta con ciertas características que le hacen ser un lenguaje muy potente aunque restrictivo a la hora de programar con el fin de evitar código inseguro. Comprueba automáticamente desbordamiento de enteros y administra automáticamente la memoria a través de ARC (*Automatic Reference Counting*) eliminando la necesidad de utilizar punteros. Este lenguaje está fuertemente tipado y es por ello que permite al propio compilador inferir el tipo de variables en tiempo de compilación sin asignarle un tipo por defecto. Permite enviar funciones o bloques de código como parámetros de otras funciones. Cuenta con un tipo de variable llamado `Opcional` que obliga al desarrollador a implementar un código seguro a partir de valores por defecto para poder compilar el código [31].

La parte de *back-end* está desarrollada a través de un *Smart contract* en la red *blockchain* de pruebas de Ethereum llamada Rinkeby. El contrato inteligente con el que se realiza toda la gestión de alquiler de coches está desarrollado en el lenguaje de programación Solidity. Solidity es un lenguaje de programación de alto nivel Turing-completo.
Cuenta con una sintaxis similar a *Javascript* y con un tipado estático, que admite herencia y polimorfismo. Los *Smart contracts* se estructuran dentro de este lenguaje de manera similar a la programación orientada a objetos. Dentro de Solidity se utilizan variables y funciones como en la programación imperativa tradicional [32].

La arquitectura global de este proyecto se puede ver representada detalladamente en la siguiente imagen:

Figura 3.1 Arquitectura global del proyecto



En la figura 3.1 se representa la arquitectura global del proyecto se pueden apreciar las diferentes partes que forman el proyecto al completo. Como se ha introducido anteriormente por una parte está la parte de *front-end* y por otro lado está la parte de *back-end*. Sin embargo, este gráfico ignora el tratamiento de usuarios dentro de la app, que se puede considerar una funcionalidad paralela que permanece en segundo plano dentro del proyecto global CarChain.

En primer lugar, en la parte izquierda de la figura está representada la parte de *front-end*, en este caso la app móvil para dispositivos con sistema operativo iOS, donde se encuentra la interfaz de usuario del proyecto. En la siguiente sección se describe detalladamente la totalidad del proyecto de la app, como la arquitectura que sigue el proyecto, las dependencias con las que cuenta para hacer todas las conexiones posibles y las complejidades que existen a la hora de integrar el *framework* de Web3.

En segundo lugar, en el centro de la figura se encuentran las herramientas Infura y Web3. Web3 es el *framework* que se está utilizando en la app que hace posible la conexión con la red Ethereum, en este caso con la red de pruebas Rinkeby. Realmente el framework de Web3 a través de Infura es capaz de conectarse a la blockchain Ethereum. Infura es la herramienta que hace posible la conexión y la comunicación con los nodos de la red, para poder utilizarse es necesario registrarse

en la plataforma y cumplir una serie de requisitos como por ejemplo tener un proyecto creado. A través de una serie de *tokens* y *endpoints* Infura hace posible la comunicación con el Smart contract desplegado en la red *blockchain* de Rinkeby.

Por último, en la parte de la derecha de la figura se encuentra la parte de *back-end* del proyecto, que representa lo que se denomina un *DApp*. *DApp* es el acrónimo de *Decentralized Application*, es decir, una aplicación descentralizada. Estas aplicaciones consisten en un código *back-end*, en este caso el *Smart contract* que se ejecuta en una red P2P (peer-to-peer). Este tipo de programas de software no necesitan de terceros de confianza o una autoridad central para funcionar, ya que, permite la interacción directa entre usuarios y proveedores [33].

La gestión de usuarios dentro de la aplicación se trata a través de Firebase de Google [34]. El gráfico de conexión entre la aplicación y esta plataforma, representado en la figura 3.2 es muy parecido al de la figura 3.1 de la arquitectura global del proyecto.

Figura 3.2 Arquitectura del proyecto sobre gestión de usuarios

A través del framework propio de Firebase que se incrusta dentro del proyecto de Xcode se gestionan los usuarios de la aplicación. Esta plataforma realiza el tratamiento de usuarios facilitando el registro de nuevos usuarios y el *login* de los mismos.
Al configurar Firebase en el proyecto a través de la consola de Google se puede ver también estadísticas de la aplicación como por ejemplo usuarios activos, interacción de los usuarios dentro de la app, y la función principal por la que se ha incluido este *framework* en el proyecto: la gestión de usuarios.

3.1 Front-end

La parte de front-end de la plataforma se ha implementado en una aplicación móvil para dispositivos iOS. El proyecto se ha desarrollado a través del IDE Xcode proporcionado por Apple y el lenguaje que se ha empleado ha sido Swift.
Para el desarrollo de la app se han utilizado distintos paradigmas de programación con el objetivo de cumplir con los principios SOLID de la programación orientada a objetos.
Se ha empleado una estructura modular dividiendo los diferentes módulos para hacerlos independientes los unos de los otros.

Los módulos principales enfocados a las distintas funcionalidades que existen dentro de la aplicación son:

- Login.
- Registro de usuarios.
- Mapa.
- Mi perfil.
- Añadir crédito.
- Registro de vehículos.
- Menú lateral.

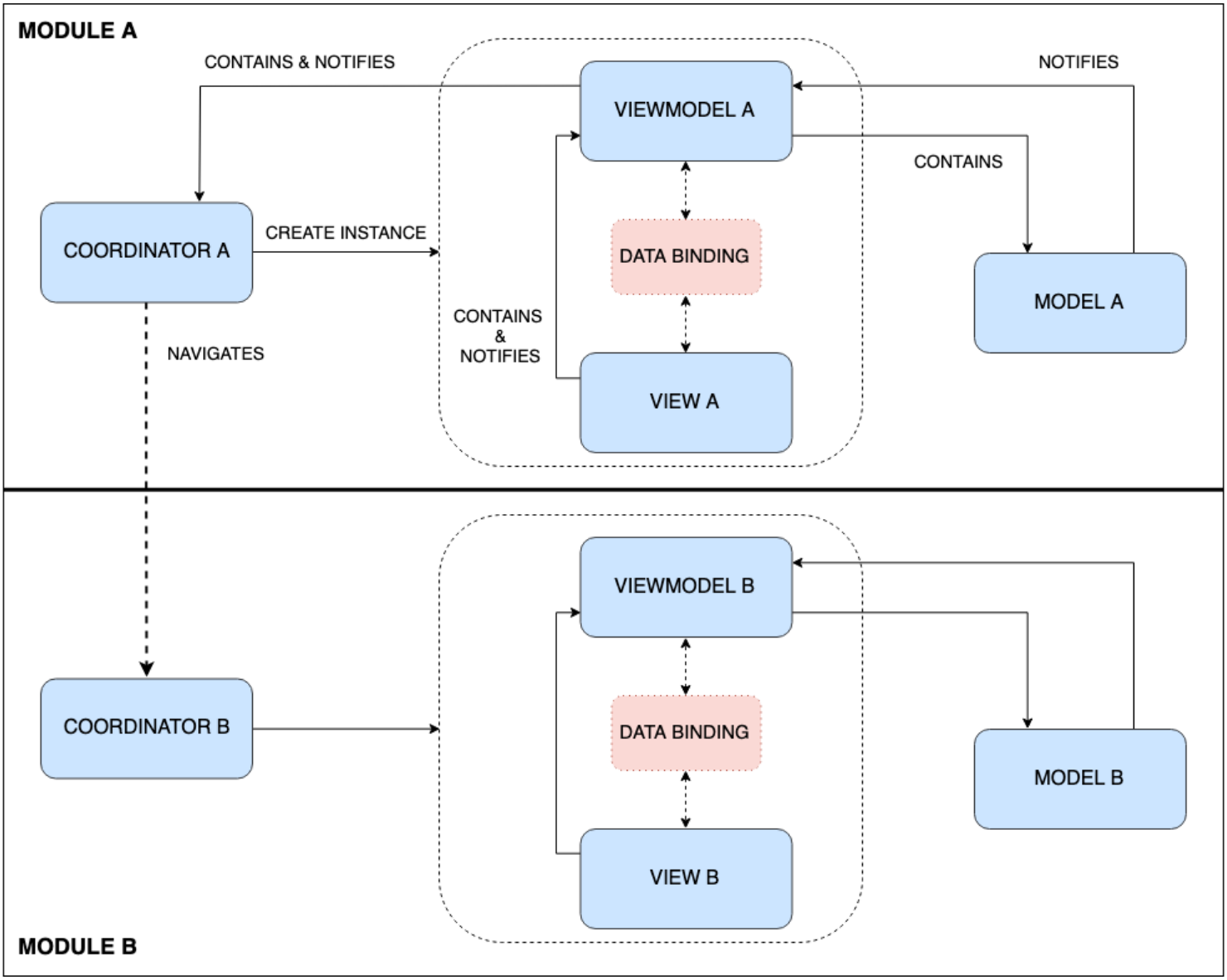
También se han implementado clases base de las que heredan las distintas partes de los módulos para evitar repetición de código y aprovechar la reutilización del mismo.

La arquitectura que se sigue dentro del proyecto sigue las siglas MVVM-C que representan la estructura: *Model*, *View*, *ViewModel*, *Coordinator*. Cada módulo implementado dentro de la app sigue este patrón de diseño. En esta arquitectura destaca la presencia del *ViewModel*, que es la figura que se encarga de acoplar el modelo de datos a la vista. Sobre el *ViewModel* recae la responsabilidad de ejecutar la lógica necesaria para mandar los datos a la vista. Sin embargo el *ViewModel* no sabe nada de la vista, es la vista la que contiene este elemento.

Este patrón de diseño mejora si se acopla la programación reactiva, a través de los frameworks RxSwift y RxCocoa, proporcionados por Apple, a través de los cuales se realiza un *data binding* de los datos entre la *View* y el *ViewModel*. La mayoría de la programación orientada a objetos es imperativa en donde cada vez que se cambia un dato se tiene que avisar a la vista para que se actualice. Sin embargo, con la programación reactiva se automatiza el proceso de eventos y de cambios de datos ya que la vista está continuamente escuchando y reaccionando a los distintos comportamientos y actualizándose de manera asíncrona. Gracias al *data binding* se genera una sincronización automática los elementos de la vista como puede ser un *Label* a la información que debe mostrarse a través de la vista, como puede ser un *String*. De manera que si se sincroniza un *Label* con un *String*, el *Label* siempre está escuchando al *String*, por lo que, si cambia de valor el *String* cambia automáticamente también el *Label* sin necesidad de estar actualizando la vista cada vez que se cambia un valor.

En la figura 3.3 se muestra detalladamente el patrón de diseño seguido dentro de la app.

Figura 3.3 Arquitectura del proyecto en Xcode



El *coordinator* es el que se encarga de crear el módulo de manera que instancia en primer lugar el *ViewModel* y la *View* y le asigna el *ViewModel* a la *View*. Posteriormente dentro de la *View* se realiza el data binding con el *ViewModel*. La vista es la que notifica al *ViewModel* de las interacciones del usuario con la misma. El *ViewModel* contiene al modelo donde se encuentran los datos y al coordinator el cual lo usa para las navegaciones a diferentes módulos. El *coordinator* cuenta también con la responsabilidad de crear nuevos módulos a la hora de navegar instanciando el *coordinator* del módulo destino.

En las siguientes figuras se muestran ejemplos de distintas partes de la arquitectura del módulo.

En la figura 3.4 se muestra un ejemplo de un *coordinator* de un módulo de la app, concretamente del módulo de *login*. Esta capa se encarga de la creación del módulo al completo y de las navegaciones del mismo. Los *coordinator* cuentan con la función `viewController()` que se encarga de inicializar la *View* y el *ViewModel*, y dos funciones (`start()` y `show()`) que se encargan de navegar a la vista dependiendo el estilo de presentación de la misma. Según el módulo el *Coordinator* suele tener funciones de navegación, como se muestra en la figura XX las funciones `navigateToMap()` y `navigateToRegister()` que se encargan de instanciar diferentes módulos a través de otros *coordinator*.

Esta capa elimina la necesidad de tratar las navegaciones en la vista mejorando la separación por capas y desacoplando las diferentes partes de la arquitectura. Esto facilita también la reutilización de la vista en diferentes pantallas evitando dependencias de navegaciones a partir de pantallas posteriores o anteriores. Gracias a este patrón de diseño todas las navegaciones de la aplicación se gestionan a través de los coordinator de cada módulo manejando así el flujo de vistas.
A través del *ViewModel* que es la capa donde se maneja la lógica y que contiene al *Coordinator* se acceden a las funciones de esta capa navegando a las distintas pantallas.

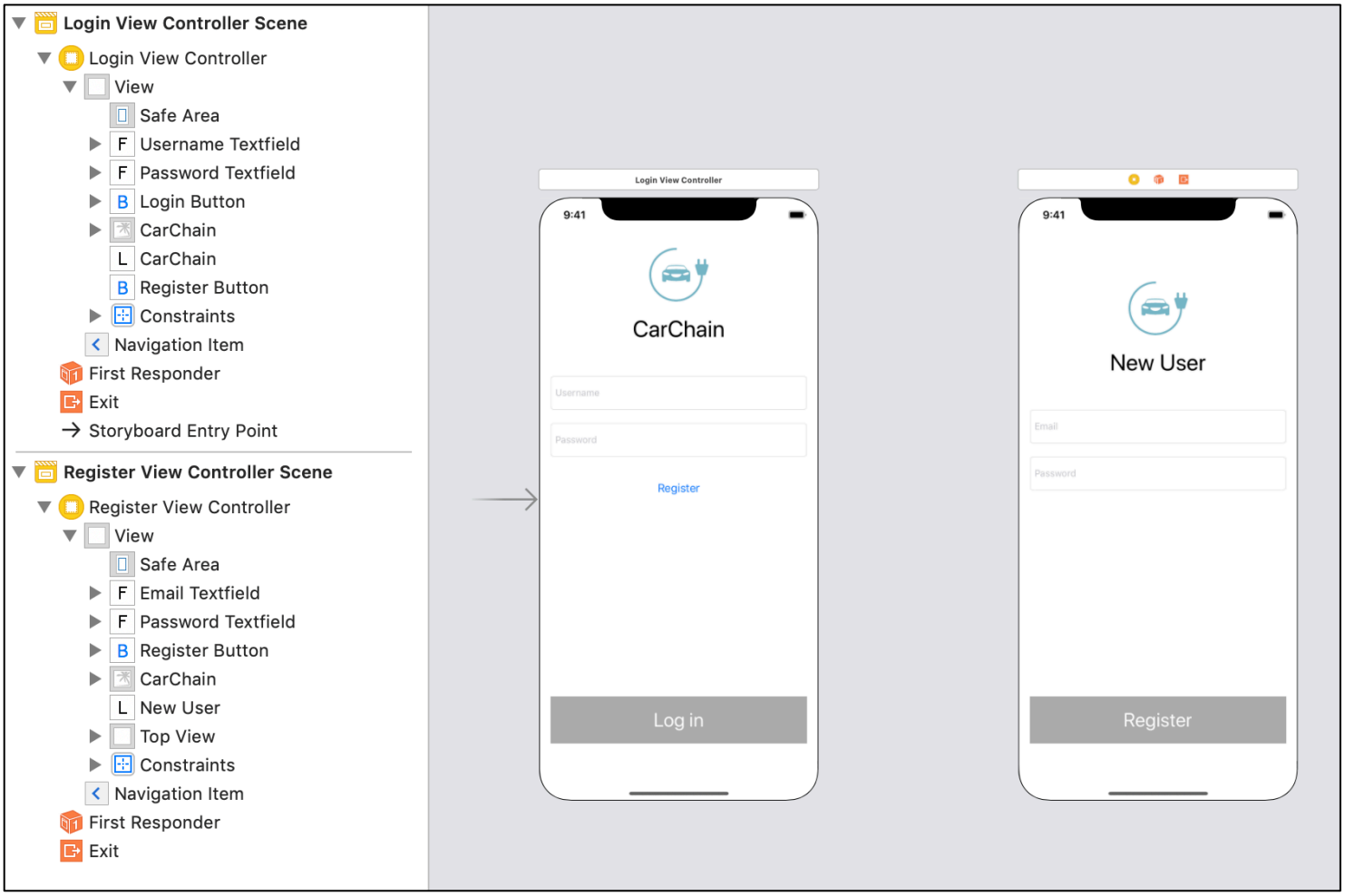
Figura 3.4 Coordinator

```
import Foundation
import UIKit

class CCLoginCoordinator : Coordinator {
    static let storyboardId = "Login"

    func start(){
        navigator?.setViewControllers([viewController()] as
[UIViewController], animated: false)
    }

    func viewController() -> CCLoginViewController {
        let vc : CCLoginViewController = UIStoryboard(name:
CCLoginCoordinator.storyboardId, bundle:
nil).instantiateInitialViewController() as! CCLoginViewController
        vc.viewModel = CCLoginViewModel(self)
        return vc
    }

    func show(_ vc : [UIViewController]){
        navigator?.setViewControllers(vc , animated: false)
    }

    func navigateToRegister(){
        CCRegisterCoordinator(navigator).start()
    }

    func navigateToMap(){
        if navigator?.children.count ?? 0 > 0
{navigator?.viewControllers.removeAll()}
```

```
        navigator?.pushViewController(UIStoryboard(name: "Main",
bundle: nil).instantiateInitialViewController()!, animated: false)
    }
}
```

La *View* se compone de distintos elementos, en primer lugar está la escena que es la parte visual, es decir, las interfaces de usuario. Hay diferentes tipos de ficheros y se instancian de diferentes maneras. En este proyecto se han empleado los ficheros llamados *Storyboards*. En estas vistas se pueden arrastrar distintos elementos que aparecen en la pantalla y configurar cosas simples como puede ser el color de una vista o de un botón. En la figura 3.5 se muestra un ejemplo de un *Storyboard* del proyecto, concretamente el de *login*, en el que aparecen la pantalla de *login* y la de registro de nuevo usuario.

Figura 3.5 View – Storyboard



Desde la escena se asocian los elementos a un *ViewController* que es donde se configuran los elementos de la vista más detalladamente y donde se implementan los comportamientos de las interacciones del usuario como puede ser el pulsado de un botón. El *ViewController* es el controlador de la vista, encargado de tratar los diferentes comportamientos de la vista como pueden ser vistas que se muestras y se esconden. Con la arquitectura que sigue el proyecto de MVVM-C y la programación reactiva en esta capa de la arquitectura se realiza el *data binding* entre el *ViewModel* y la propia vista.

En la figura 3.6 se muestra un ejemplo del código de un *ViewController* que implementa la capa de la vista en la arquitectura. El método `viewDidLoad()` indica que la pantalla ya se ha cargado y ya se pueden configurar los elementos. Se invoca a la función `bindViewModel()` que se encarga de hacer el *data binding* entre los datos del *ViewModel* y los elementos de la vista. En esta misma función se observan los eventos a los que se quiere escuchar y se invocan funciones del *ViewModel* para tratarlos como por ejemplo el botón de login a través del código: `self.viewModel?.loginButtonAction(self)` .

Figura 3.6 View - Código

```
import Foundation
import UIKit

class CCLoginViewController : CCBaseViewController {

    var viewModel : CCLoginViewModel?

    @IBOutlet weak var passwordTextfield: UITextField!
    @IBOutlet weak var usernameTextfield: UITextField!
    @IBOutlet weak var loginButton: CCButton!
    @IBOutlet weak var registerButton: UIButton!

    override func viewDidLoad() {
        super.viewDidLoad()
        bindViewModel()
    }

    func bindViewModel(){
        viewModel?.username.asObservable().bind(to:
usernameTextfield.rx.text).disposed(by: disposeBag)

usernameTextfield.rx.text.orEmpty.bind(to:viewModel!.username).dispose
d(by: disposeBag)
        viewModel?.password.asObservable().bind(to:
passwordTextfield.rx.text).disposed(by: disposeBag)
        passwordTextfield.rx.text.orEmpty.bind(to:
viewModel!.password).disposed(by: disposeBag)
        _ = loginButton.rx.tap.subscribe(){
            value in self.viewModel?.loginButtonAction(self)
        }
```

```
        _ = registerButton.rx.tap.subscribe(){value in
self.viewModel?.registerButtonPressed()}

        let tap = UITapGestureRecognizer()
        view.addGestureRecognizer(tap)
        _ = tap.rx.event.bind(onNext: { recognizer in
            self.view.endEditing(true)
        })
    }
}
```

La capa del *ViewModel* de esta arquitectura podría verse como un controlador, ya que se encarga de la lógica de negocio. De esta manera se desacopla la lógica del controlador de la vista manteniendo el principio de responsabilidad única. Esta capa debe verse completamente independiente del resto de partes de la arquitectura de manera que si el código de esta parte del módulo se copiase y se pegase en un proyecto de otra plataforma debería realizar el mismo comportamiento siempre y cuando se implementara el *data binding* y los métodos de navegación. Por regla general el *ViewModel* suele contener al modelo pero existen algunos casos en que no es necesario como el módulo de *login*. También contiene al *coordinator* para poder realizar las navegaciones correspondientes.
En la Figura 3.7 se muestra un ejemplo del *ViewModel* del módulo de *login*. Se pueden las dos variables de tipo String que son el usuario y la contraseña, con los que realiza el *data binding* en la *View* con unos campos de texto. Además cuenta con funciones como el pulsado del botón de login que se invoca desde la vista al reaccionar al evento del botón. También puede verse un ejemplo de navegación en la función `loginSuccess(_ user: User)` en donde se llama a un método del coordinator para que navegue : `coordinator?.navigateToMap()`.

Figura 3.7 ViewModel

```
import Foundation
import RxCocoa
import RxSwift
import Firebase

class CCLoginViewModel {

    let coordinator : CCLoginCoordinator?
    var username = Variable<String>("")
    var password = Variable<String>("")

    init(_ coordinator:CCLoginCoordinator?) { self.coordinator =
coordinator ; checkUserSaved() }

    func checkUserSaved(){
        if UserDefaults.standard.bool(forKey:
k.UserDefaults.userRegistered){
            username.value = UserDefaults.standard.value(forKey:
k.UserDefaults.username) as! String
```

```
            password.value = UserDefaults.standard.value(forKey:
k.UserDefaults.password) as! String
        }
    }

    func loginButtonAction(_ vc : CCLoginViewController){
        if !username.value.isEmpty && !password.value.isEmpty{
            vc.showLoader()
            Auth.auth().signIn(withEmail: username.value, password:
password.value) { (user, error) in
                vc.hideLoader()
                guard let user = user?.user else {self.showError();
return}
                self.loginSuccess(user)
            }
        }
        else{ UIAlertController(title: "Error", message: "Data
missing", preferredStyle: .alert).show() }
    }

    func loginSuccess(_ user: User){
        UserDefaults.standard.set(true, forKey:
k.UserDefaults.userRegistered)
        UserSession.sharedInstance.saveUser(user, username.value,
password.value)
        coordinator?.navigateToMap()
    }

    func showError(){
        UIAlertController(title: "Error", message: "User/password
incorrect", preferredStyle: .alert).show()
    }

    func registerButtonPressed(){
        coordinator?.navigateToRegister()
    }
}
```

El modelo representa la capa de datos, contiene la información pero no realiza ningún tipo de lógica. Normalmente en esta capa se suele llamar a los servicios si son necesarios para obtener la información necesaria. En la Figura 3.8 se muestra un ejemplo de modelo del módulo de mi perfil en el que se realizan las consultas a la información del usuario como por ejemplo el crédito del usuario o la matrícula del vehículo alquilado si es que tiene alguno a través de los métodos `performUserCredit()` y `performUserCar()`.

Figura 3.8 Model

```
import UIKit

class CCMyProfileModel: NSObject {

    override init() { super.init() }

    func performUserCredit(completion :@escaping ( _ result :
[String:Any]) -> () ){

CCSmartContractManager().getUserCredit(UserSession.sharedInstance.user
?.uid ?? ""){value in
            completion(value)
        }
    }

    func perfomUserCar(completion :@escaping ( _ result :
[String:Any]?) -> () ){

CCSmartContractManager().getUserCar(UserSession.sharedInstance.user?.u
id ?? ""){value in
            completion(value)
        }
    }
}
```

3.2 Herramientas de conexiones

Tal y como se explica previamente, las herramientas de conexiones que se han empleado para conectar el *front-end* con el *back-end* son Infura y Web3. Estas dos herramientas son necesarias para la comunicación con el Smart contract desplegado, pero cada una tiene su función dentro del proyecto. A pesar de que aparezcan en la misma sección en la figura de la arquitectura global Web3 podría incluirse en la parte de *front-end* ya que se implementa dentro de la app y apunta a Infura para poder conectarse a la *blockchain*. Estas dos herramientas cumplen una función importantísima dentro del proyecto CarChain, ya que son las que hacen posible comunicación de la parte de *front-end* con la parte de *back-end*.

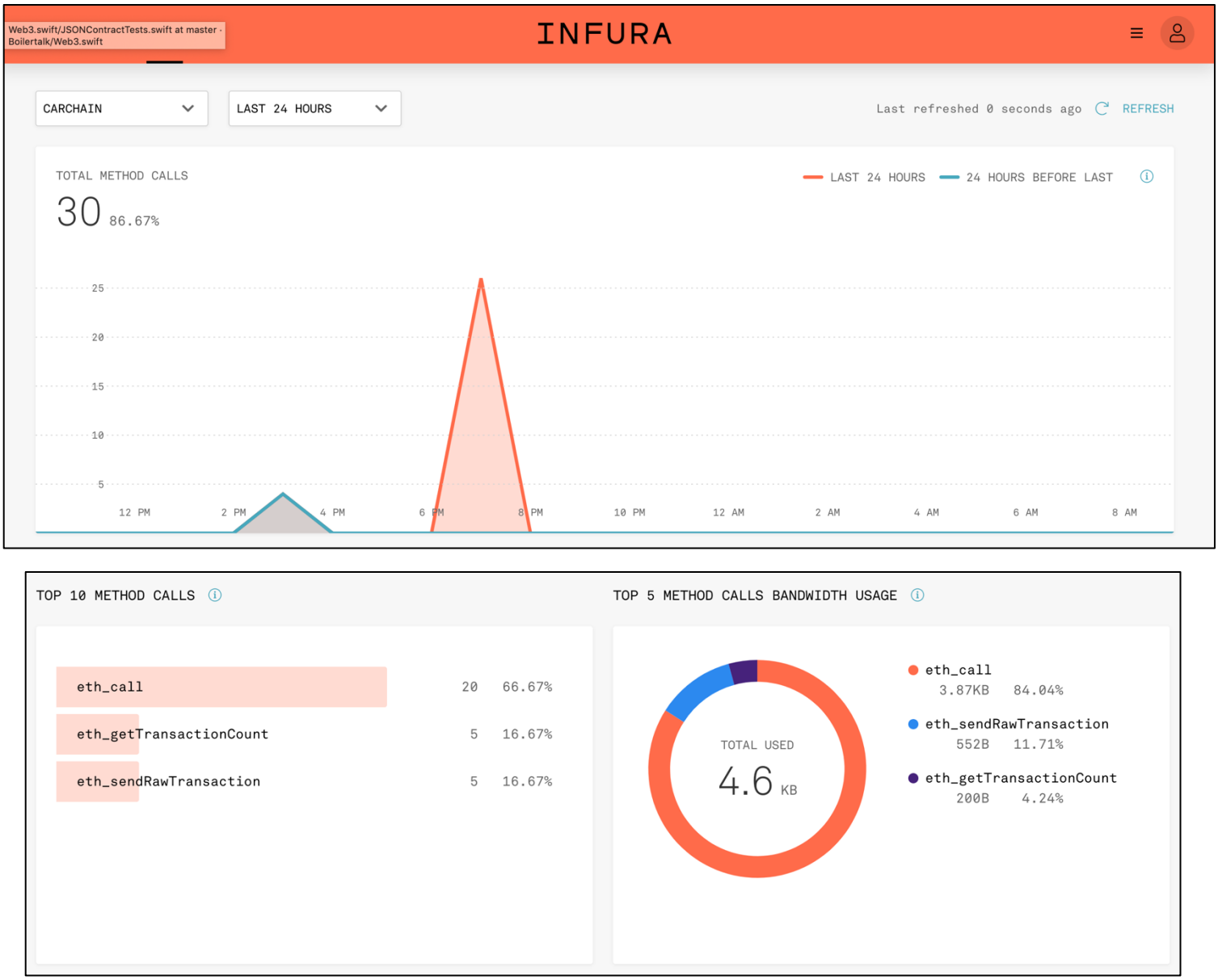
Infura

Por una parte Infura proporciona acceso seguro y de confianza a Ethereum para que las aplicaciones descentralizadas sin tener que ejecutar localmente un nodo de la *blockchain*. Esta plataforma puede verse como una infraestructura de back-end escalable para la construcción de DApps en Ethereum.

Infura está formada por una colección de nodos completos de Ethereum que permite a los desarrolladores conectarse a través de su interfaz o su API. Para poder utilizarlo es necesario crear una cuenta y crear un proyecto. Al crear un proyecto ofrece diferentes *endpoints* y *tokens* para conectarse con las distintas *blockchains* de Ethereum.

Cuenta con un panel de estadísticas en las que se puede ver la interacción con el proyecto, asociado comúnmente a un *Smart contract*. En la Figura 3.9 se muestra una captura de las estadísticas de Infura del proyecto CarChain.

Figura 3.9 Interfaz de Infura, estadísticas de interacciones con el Smart Contract



Por una parte esta plataforma ofrece gráficas sobre la interacción que ha tenido el *Smart contract* durante periodos de tiempo seleccionables. Por otro lado, Infura proporciona estadísticas del tipo de los métodos que se han utilizado para comunicarse con el contrato, es decir si han sido métodos

de consulta, llamados *eth_call*, métodos de envío de transacción, categorizados como *eth_sendRawTransaction*, o funciones de consulta del *nonce*, *eth_getTransactionCount*.

La cantidad de llamadas al método que devuelve el *nonce* es la misma que la cantidad de llamadas a funciones de envío de transacciones, esto se debe a que para ejecutar una transacción es necesario primeramente conocer el *nonce* necesario. El *nonce* es un número aleatorio que se emplea en criptografía dentro de los protocolos de autenticación. En una red *blockchain* pública basada en *proof-of-work* el *nonce* funciona en combinación con el *hash* como un elemento de control para evitar la manipulación de la información de los bloques. Este número aleatorio garantiza que los hash antiguos no se puedan volver a utilizar en lo que se denominan ataques de repetición. Normalmente el *nonce* también puede representar un *timestamp* o una marca de tiempo. [35]

Web3

Web3 es un *framework* en Swift que permite firmar las transacciones e interactuar con los Smart contracts de la red de Ethereum. Ofrece la posibilidad de conectarse a un nodo de Ethereum por ejemplo a través de Infura para enviar transacciones y leer valores de Smart contracts sin la necesidad de implementaciones propias de protocolos [33].

Para poder utilizar este framework es necesario incorporar al proyecto de Xcode Cocoapods [37], Carthage [38] y Swift Package Manager [39].

Cocoapods, Carthage y Swift Package Manager son herramientas que cuentan con el objetivo de facilitar la incorporación de *framework* y sus dependencias a la app modificando automáticamente archivos de proyecto y configuraciones de compilación. Estos gestores de dependencias hacen posible el uso de la biblioteca Web3.swift dentro del proyecto ya que a pesar de que dentro del proyecto se utilice el módulo Web3, éste necesita de otros frameworks para poder compilarse y ejecutarse correctamente. Para poder utilizar estos gestores de dependencias se tienen que implementar los archivos:

- Podfile: fichero que gestiona Cocoapods, como se muestra en la figura 3.10.
- Cartfile: necesario para el uso Carthage, como se muestra en la figura 3.11.
- Package.swift: archivo que maneja Swift Package Manager, como se muestra en la figura 3.12.

Figura 3.10 Podfile

```
target 'CarChain' do
  platform :ios, '11.0'
  use_frameworks!

  # Pods for CarChain
  pod 'Web3'
  pod 'Web3/PromiseKit'
  pod 'Web3/ContractABI'
  pod 'RxSwift'
  pod 'RxCocoa'
  pod 'Firebase/Core'
```

```
  pod 'Firebase/Auth'
end
```

Figura 3.11 Package.swift

```
import PackageDescription

let package = Package(
    name: "CarChain",
    products: [.library(name: "CarChain",targets: ["CarChain"]),],
    dependencies: [.package(url:
"https://github.com/Boilertalk/Web3.swift.git", from: "0.3.0")],
    targets: [ .target(name: "CarChain", dependencies: ["Web3",
"Web3PromiseKit", "Web3ContractABI"]),
                .testTarget( name: "CarChainTests", dependencies:
["CarChain"])]
)
```

Figura 3.12 Cartfile

```
github "Boilertalk/Web3.swift"
github "attaswift/BigInt" ~> 3.1
github "krzyzanowskim/CryptoSwift" ~> 0.8
github "Boilertalk/secp256k1.swift" ~> 0.1
github "mxcl/PromiseKit" ~> 6.0
```

La combinación de estos tres archivos permiten utilizar el *framework* Web3.swift necesario para la comunicación de la app con el *Smart contract*. Estas herramientas de integración continua manejan automáticamente las bibliotecas externas y las dependencias de estos módulos manteniendo actualizado el proyecto e integrando los distintos *frameworks* con el objetivo de facilitar el proceso de compilación. De esta manera se automatiza el proceso de descarga y mantenimiento, la compilación y la vinculación de bibliotecas y paquetes. Una vez incluidos en el proyecto los distintos módulos cuentan con una gran facilidad a la hora de usarlos ya que basta con importarlos en la parte del proyecto que quiera usarse. Estos módulos externos suelen tener información incorporada describiendo las variables y las funciones definidas con su objetivo y su uso.

Una vez implementados los requisitos necesarios de dependencias para el uso del *framework*, se ha creado dentro del proyecto de Xcode un fichero llamado SmartContractManager a través del cual se gestiona toda la interacción con el *Smart contract*. Este fichero declara las variables que se van a utilizar en los métodos. Estos métodos hacen llamadas a las funciones del contrato. Las respuestas de estos métodos se devuelven por *callbacks* para ejecutar un bloque u otro en caso de éxito o fallo. Una parte de esta clase se encuentra en la Figura 3.13.

Figura 3.13 Web3.swift dentro de la app

```
import Foundation
import Web3

class CCSmartContractManager{

    let managerAddress = try! EthereumAddress(hex:
k.SmartContractData.managerAddress, eip55: false)
    let contractJsonABI =
k.SmartContractData.contractJsonABI.data(using: .utf8)!
    let web3 = Web3(rpcURL: k.SmartContractData.rinkebyEndpoint)
    let contractAddress = try! EthereumAddress(hex:
k.SmartContractData.contractAddress, eip55: false)
    let gasPrice = EthereumQuantity(quantity: 1.gwei)
    let myPrivateKey = try! EthereumPrivateKey(hexPrivateKey:
k.SmartContractData.privateKey)
    lazy var contract = try! web3.eth.Contract(json: contractJsonABI,
abiKey: nil, address: contractAddress)

    func getUserCredit(_ userId : String, completion :@escaping ( _
result : [String:Any]) -> () ){
        firstly {
contract[k.SmartContractFunctions.getUserCredit]!(userId).call() }
            .done { hash in print(hash);  completion(hash) }
            .catch { error in print(error) }
    }

    func getUserCar(_ userId : String, completion :@escaping ( _
result : [String:Any]?) -> () ){
        firstly {
contract[k.SmartContractFunctions.getUserCar]!(userId).call() }
            .done {
                hash in print(hash) ;
                completion(hash) }
            .catch {
                error in print(error) ;
                completion(nil) }
    }
```

Al inicio de la clase se encuentran definidas las variables con las que se trabaja en las funciones. Para poder realizar la comunicación con el Smart contract se necesita tener:

- La dirección de la cuenta desde la que se va acceder.
- ABI del contrato, es decir el binario de la interfaz, necesario para realizar las llamadas a las funciones.
- Una instancia del módulo Web3 con el *endpoint* proporcionado por Infura.
- La dirección del *Smart contract* dentro de la *blockchain.*
- El precio de gas máximo por el que se pagaría.

- La clave privada de la cuenta de MetaMask para poder firmar las transacciones.

Con esto es posible crear una especie de instancia del contrato para poder trabajar con ella en el código.

Posteriormente se encuentran dos funciones de consulta, es por ello que empiezan por la palabra `get`. Las funciones `getUserCredit()` y `getUserCar()` se encargan de obtener la información del usuario. Se invoca el método `call()` del módulo Web3 y a través de *callbacks* devuelve un *hash* con el valor que devuelve la función del *Smart contract* en caso de que se haya ejecutado correctamente o un error en caso de que algo haya fallado. En la figura 3.14 se encuentran dos métodos que invocan funciones de transacción. Las funciones que muestran el siguiente código son las que llaman a los métodos del Smart contract que se encargan de alquilar un coche y devolver un coche.

Figura 3.14 Web3.swift dentro de la app

```
func rentCar(_ plate : String, _ userId : String, completion
:@escaping ( _ result : EthereumData?) -> ()){
        web3.eth.getTransactionCount(address: myPrivateKey.address,
block: .latest) {response in
            do {
                let c =
self.contract[k.SmartContractFunctions.rentCar]?(plate, userId)
                let transaction: EthereumTransaction =
c!.createTransaction(nonce: response.result, from:
self.myPrivateKey.address,

value: 0, gas: 210000, gasPrice: self.gasPrice)!
                let signedTx: EthereumSignedTransaction = try
transaction.sign(with: self.myPrivateKey, chainId: 4)

                firstly {
self.web3.eth.sendRawTransaction(transaction: signedTx) }
                    .done {
                        txHash in print(txHash) ;
                        completion(txHash) }
                    .catch {
                        error in print(error) ;
                        completion(nil) }
            } catch { print(error) }
        }
    }

    func returnCar(_ plate : String, _ userId : String, completion
:@escaping ( _ result : EthereumData?) -> ()){
        web3.eth.getTransactionCount(address: myPrivateKey.address,
block: .latest) {response in
            do {
```

```
                let c =
self.contract[k.SmartContractFunctions.returnCar]?(plate, userId)
                let transaction: EthereumTransaction =
c!.createTransaction(nonce: response.result, from:
self.myPrivateKey.address,

value: 0, gas: 210000, gasPrice: self.gasPrice)!
                let signedTx: EthereumSignedTransaction = try
transaction.sign(with: self.myPrivateKey, chainId: 4)

                firstly {
self.web3.eth.sendRawTransaction(transaction: signedTx) }
                    .done {
                        txHash in print(txHash) ;
                        completion(txHash) }
                    .catch {
                        error in print(error) ;
                        completion(nil) }
            } catch { print(error) }
        }
    }
```

Ambas funciones reciben como parámetros la matricula del vehículo y el id del usuario. Dentro de estas funciones primeramente se invoca una función de Web3 que devuelve el valor del *nonce* necesario para invocar posteriormente en el envío de la transacción. Se crea una instancia de la transacción y a partir de ella una instancia de la transacción firmada con la clave privada. Por último con el módulo Web3 se envía la transacción y se espera la respuesta también a través de *callbacks*, que devuelve el *hash* de la transacción en caso que haya sido exitosa o un error en caso de fallo.

3.3 Back-end o DApp

En esta sección se detalla al completo la implementación del *Smart contract* utilizado para la plataforma. También se explica el proceso de compilación y despliegue del mismo sobre la *blockchain* y se muestran ejemplos gráficos de las interacciones con las funciones y del gasto de gas al conectarse con el contrato.

En primer lugar, Ethereum proporciona la *blockchain* Rinkeby como red de pruebas con el objetivo de que desarrolladores puedan probar sus contratos inteligentes sobre ella sin gastar Ethers o Weis reales. A través de la plataforma Remix se pueden crear *Smart contracts*, así como interactuar con ellos, depurarlos y desplegarlos. Por un lado permite utilizar una maquina virtual para probar y depurar sin gastar Ethers y por otro lado también es posible comunicarse con contratos ya desplegados en la *blockchain*. Como esta tecnología es tan versátil a día de hoy debido a que tiene que adaptarse a cambios de manera rápida Remix ofrece distintas versiones de compilación de Solidity, ya que según la versión que se seleccione es posible que el lenguaje haya cambiado y el mismo contrato que compila con una versión anterior no compile con una versión más nueva.

El contrato implementado en este proyecto se ha compilado con la versión 0.4.18. Sin embargo, a día de hoy ya se encuentra disponible en Remix la versión de compilación 0.6.0.

Una parte del *Smart contract* que se usa en este proyecto se puede ver en la Figura 3.15. Este contrato se encarga de toda la gestión del alquiler de vehículos de la aplicación. Implementa las principales funciones necesarias para alquilar o devolver vehículos, registrar nuevos coches o nuevos usuarios y todos los métodos que estas funcionalidades requiere. También maneja la información respecto al crédito del usuario y a los coches que están alquilados por distintos usuarios. En la primera línea aparece la versión de compilación. Al principio del contrato se encuentran las estructuras de datos que se han usado para los coches y los usuarios. Posteriormente, se declaran las variables que se han utilizado, en donde la estructura *mapping* puede entenderse como una mezcla de *array* y diccionario. El constructor del *Smart contract* inicializa las variables al desplegar el contrato sobre la red. A partir del constructor se encuentran las funciones a través de las cuales se realiza todo el tratamiento del alquiler de vehículos, es por ello que existen funciones con el objetivo de registrar nuevos usuarios, nuevos coches, alquilar coches, devolverlos, etc.

Existen dos tipos diferenciados de funciones en los *Smart contracts*. Por un lado están las que devuelven un valor como podría ser consultar un `int`. Este tipo de funciones gastan gas pero mucho menos que las que necesitan de transacciones. Tienen un `return` al final que devuelve un valor. Las variables declaradas como `public` también cuentan con una función `get` automática que devuelve su valor sin tener que implementarla. Por otro lado están las funciones que asignan valores a las variables, es decir que modifican el estado del contrato realizando cambios sobre sus datos. Este tipo de funciones también llamadas funciones de transacción son más costosas en términos de gas ya que son mas costosas de ejecutar para los nodos.

Figura 3.15 Smart contract del proyecto

```
pragma solidity ^0.4.18;

contract CarChain {

    struct Car {
        string plate;
        string userId;
        bool registered;
    }

    struct User{
        string id;
        uint credit;
        string carPlate;
        bool registered;
    }

    mapping(string => User) users;
```

```
    mapping(string => Car) cars;
    address manager;
    uint public minimumRentCredit;
    uint public registeredUsers;
    uint public registeredCars;
    uint public rentedCars;
    uint public availableCars;

    function CarChain() public {
        manager = msg.sender;
        minimumRentCredit = 1;
        registeredUsers = 0;
        registeredCars = 0;
        rentedCars = 0;
        availableCars = 0;
    }

    function registerNewUser(string _userId) public{
        require(!users[_userId].registered);
        User storage newUser = users[_userId];
        newUser.id = _userId;
        newUser.credit = 0;
        newUser.registered = true;
        newUser.carPlate = "-";
        registeredUsers++;
    }

    function registerNewCar(string _plate) public restricted{
        //Check there is no Car registered with this id
        require(!cars[_plate].registered);

        Car storage newCar = cars[_plate];
        newCar.plate = _plate;
        newCar.registered = true;
        newCar.userId = "-";
        registeredCars++;
        updateAvailableCars();
    }

    function rentCar(string _plate, string _userId) public {
        require(cars[_plate].registered);
        require(users[_userId].registered);
        require(users[_userId].credit >= minimumRentCredit);
        require(keccak256(cars[_plate].userId)  ==  keccak256("-
"));
        require(keccak256(users[_userId].carPlate)            ==
keccak256("-"));
```

```
        User storage user = users[_userId];
        user.credit -= minimumRentCredit;
        user.carPlate = _plate;
        Car storage car = cars[_plate];
        car.userId = _userId;
        rentedCars++;
        updateAvailableCars();
    }

    function returnCar(string _plate, string _userId) public {
        require(cars[_plate].registered);
        require(users[_userId].registered);
        require(keccak256(cars[_plate].userId)                  ==
keccak256(_userId));
        require(keccak256(users[_userId].carPlate)              ==
keccak256(_plate));

        User storage user = users[_userId];
        user.carPlate = "-";
        Car storage car = cars[_plate];
        car.userId = "-";

        rentedCars--;
        updateAvailableCars();
    }

    function getUserCredit(string _userId) public view returns
(uint){
        return users[_userId].credit;
    }

    function getUserCar(string _userId) public view returns
(string){
        return users[_userId].carPlate;
    }

    function updateAvailableCars() private {
        availableCars = registeredCars - rentedCars;
    }

    function addCredit(string _userId, uint _credit) public {
        require(users[_userId].registered);
        User storage user = users[_userId];
        user.credit += _credit;
    }

    modifier restricted(){
        require(msg.sender == manager);
```

```
        _;
    }
}
```

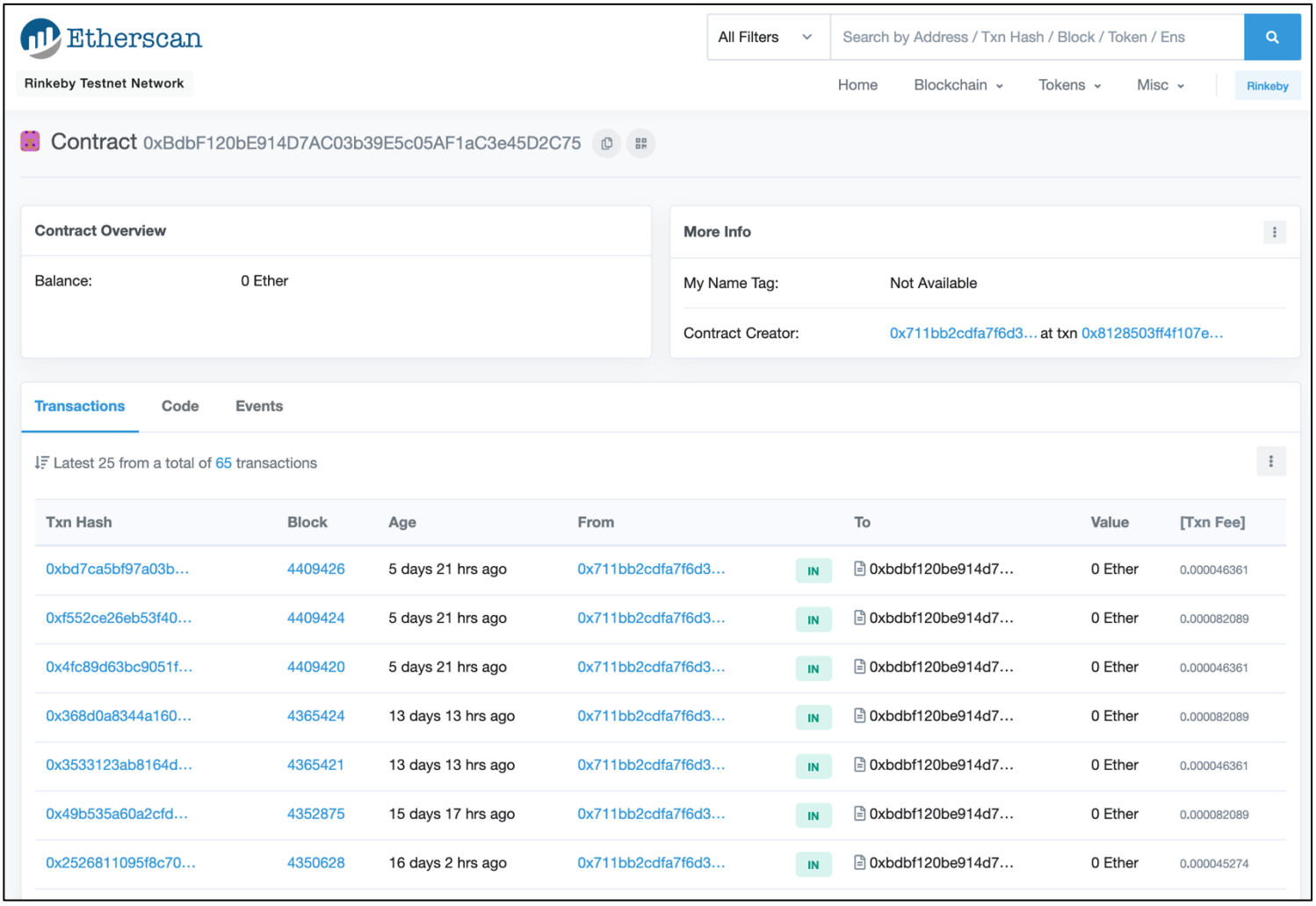
Una vez probado el Smart contract en la plataforma Remix se ha compilado localmente para desplegarlo posteriormente a la red de Rinkeby. Para ello es necesario trabajar con el lenguaje node a través del cual se compila el contrato y se extrae la interfaz que necesita la blockchain para desplegarlo correctamente.
Node necesita ciertas dependencias que deben ser instaladas para la compilación y despliegue de los Smart contracts como por ejemplo:

- Solc: necesario para compilar *Smart contracts* en Solidity.
- Web3: que permite interactuar con un nodo Ethereum en remoto para el despliegue del contrato.
- Truffle-hdwallet-provider: necesario para firmar transacciones, es decir, para realizar la transacción del despliegue del contrato. Para ello se debe tener una cuenta en la plataforma MetaMask[40] que puede entenderse como un *wallet* de Ethereum y permite la comunicación con la blockchain a través de navegadores de internet como Chrome o Firefox.

El *Smart contract* se despliega en una dirección de la *blockchain* a través de la cual se puede interactuar con él. La dirección del contrato implementado y desplegado en este proyecto es: `0xbdbf120be914d7ac03b39e5c05af1ac3e45d2c75`.

Rinkeby cuenta con un explorador de bloques llamado Etherscan [41] a través del cual se puede buscar una dirección de un *Smart contract*, la dirección de una cuenta para ver sus interacciones en la red, *tokens* etc. Si se busca la dirección del *Smart contract* de este proyecto se pueden ver las interacciones que ha tenido desde su despliegue. En la siguiente figura se puede ver un ejemplo de la interfaz que ofrece esta plataforma y la información que ofrece sobre las comunicaciones con los contratos.

Figura 3.16 Interfaz de Etherscan, registros de la interacción del *Smart contract*

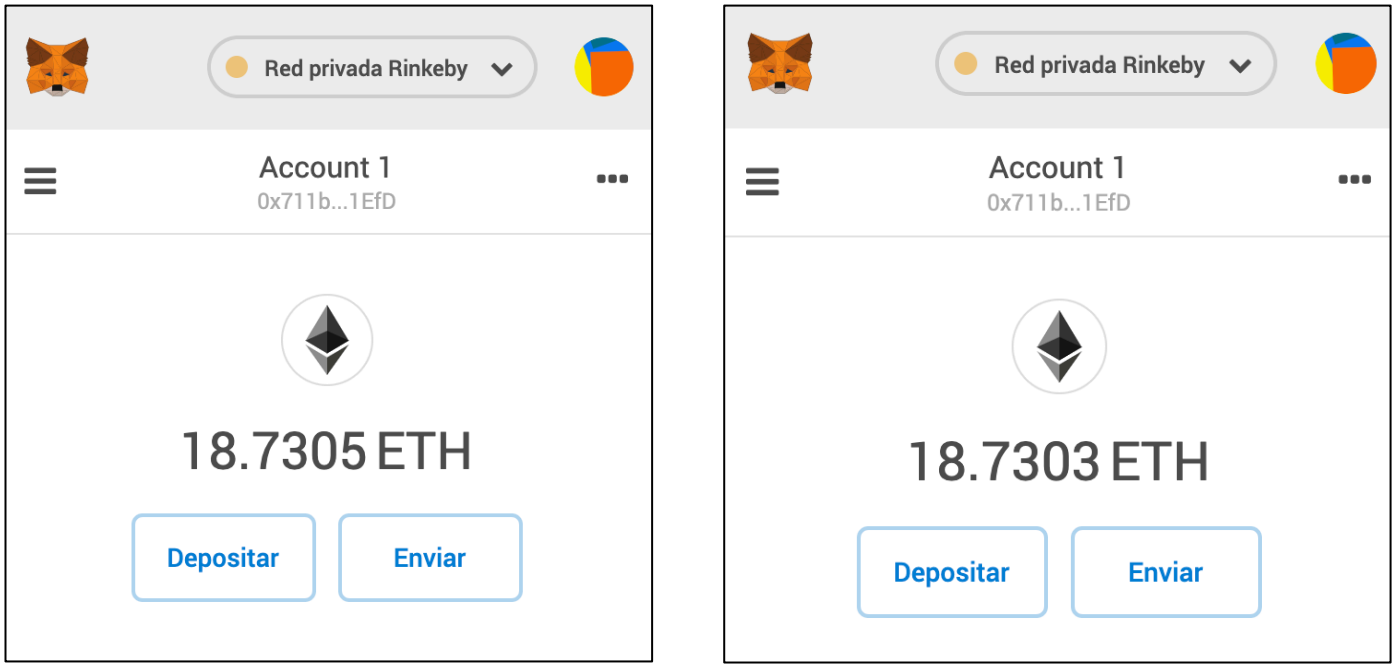


En la figura 3.16 se puede ver información acerca de las transacciones como por ejemplo en que bloque se han incluido, la dirección de la cuenta desde la que se ha interactuado, el *hash* de la transacción o la "multa" de gas que ha costado. Cada vez que se interactúa con el Smart contract, ya sea una función de consulta de datos o una transacción, queda registrado y se puede consultar a través de Etherscan. También puede verse la cuenta desde la que se desplegó el contrato y el *hash* de la transacción mediante la que se llevo a cabo el despliegue.

Todas las transacciones se han ejecutado desde la misma cuenta de MetaMask: `0x711bb2cDfA7f6d3C2D4d2dd167E45D80A4Af1EfD`. Esta cuenta fue creada al inicio del proyecto y gracias a la extensión del explorador Chrome puede verse el saldo en Ethers de la cuenta. En las siguientes imágenes se muestra un ejemplo de la interfaz que ofrece el *plugin* y como el saldo

disminuye con las transacciones aunque sea sólo con funciones de consulta pagando así la "multa" de gas que corresponde con cada función.

Figura 3.17 Interfaz de MetaMask tras gastar Ethers

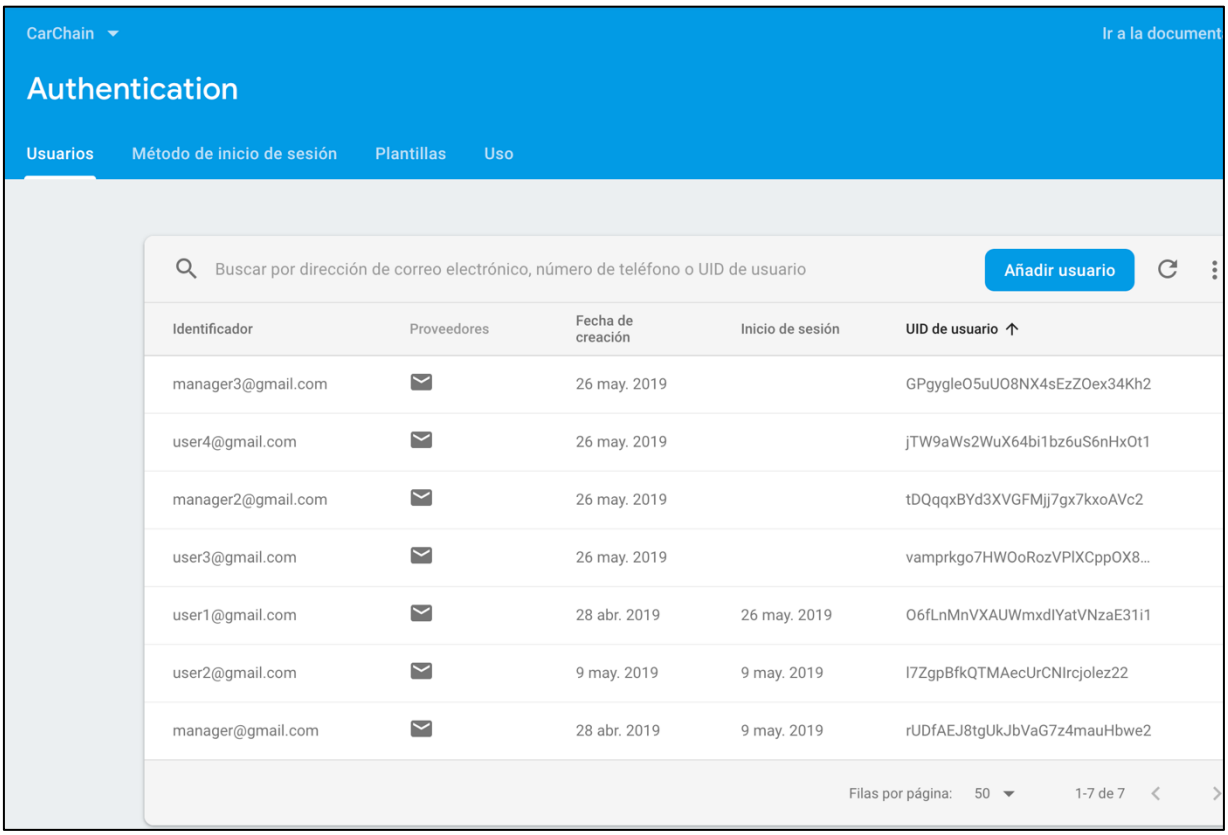


En la figura 3.17 aparecen unas imágenes que fueron tomadas durante unas pruebas de la aplicación móvil. La cuenta que aparece en las capturas es la que se ha utilizado para el despliegue de los contratos y para toda su interacción. La imagen de la izquierda se realizó antes de comenzar las pruebas y la segunda imagen al terminar. Es por ello que el saldo de la segunda imagen es inferior a la de la izquierda. Estas pruebas se realizaron a través de la app pero si se quisiera a través de Remix también es posible realizar una prueba del mismo estilo. Para ello se necesita el código del contrato, la dirección en la que se encuentra dentro de la blockchain y una cuenta válida que cuente con Ethers disponibles para ejecutar transacciones.

Dentro de la sección de back-end, debe incluirse la gestión de usuarios de la aplicación, la cual se trata a través del *framework* de Firebase [34]. Al igual el módulo de Web3, Firebase también se añade al proyecto a través de Cocoapods. Esta plataforma de Google permite registrar aplicaciones para las que ofrece gratuitamente un soporte de estadísticas, gestión de usuarios, analíticas, informes de fallos, etc.

Firebase proporciona la siguiente interfaz para el tratamiento de usuarios:

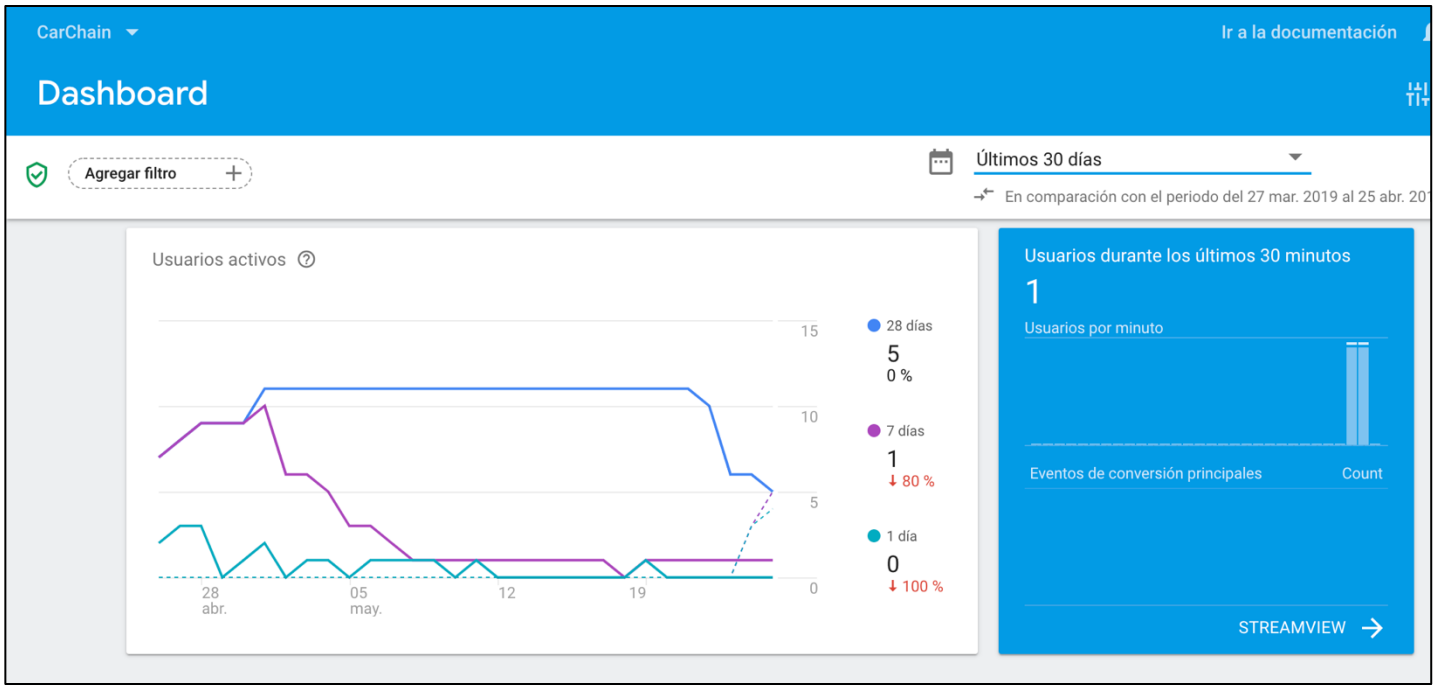
Figura 3.18 Consola de Firebase gestión de usuarios

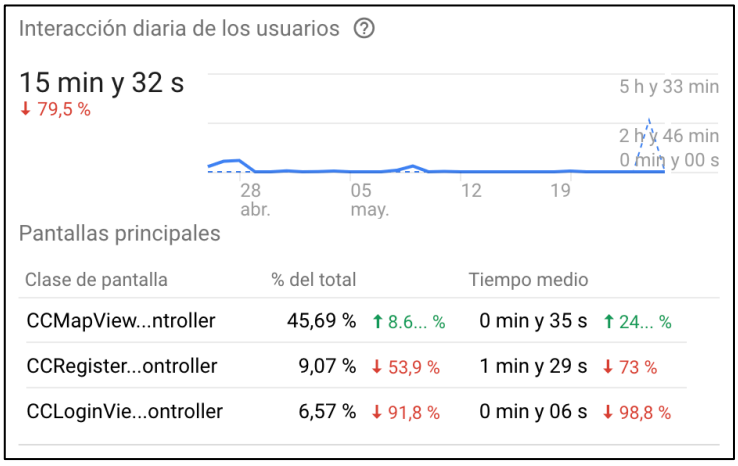


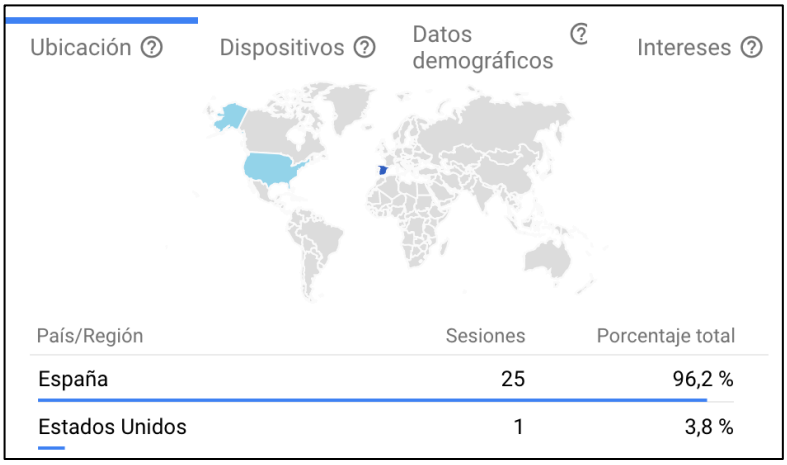
En la figura 3.18 se pueden ver los distintos usuarios registrados, así como su ID de usuario, las direcciones de mail, la fecha de creación o el último inicio de sesión. Como la gestión de usuarios queda en segundo plano dentro de este proyecto se ha utilizado el registro de la manera más sencilla posible a través de la dirección de correo electrónico. Sin embargo Firebase ofrece la posibilidad de registrar usuarios a partir del teléfono móvil o de plataformas como Facebook, Twitter y Google por ejemplo.

Esta plataforma además gestiona automáticamente una gran cantidad de estadísticas útiles relacionada con el uso de la app. Ofrece por ejemplo el número de usuarios activos, la interacción de los usuarios dentro de las pantallas de la aplicación para ver donde pasan más tiempo los usuarios dentro de la app o la audiencia en términos de ubicación a través de un mapa.

Figura 3.19 Analíticas y estadísticas en la consola de Firebase





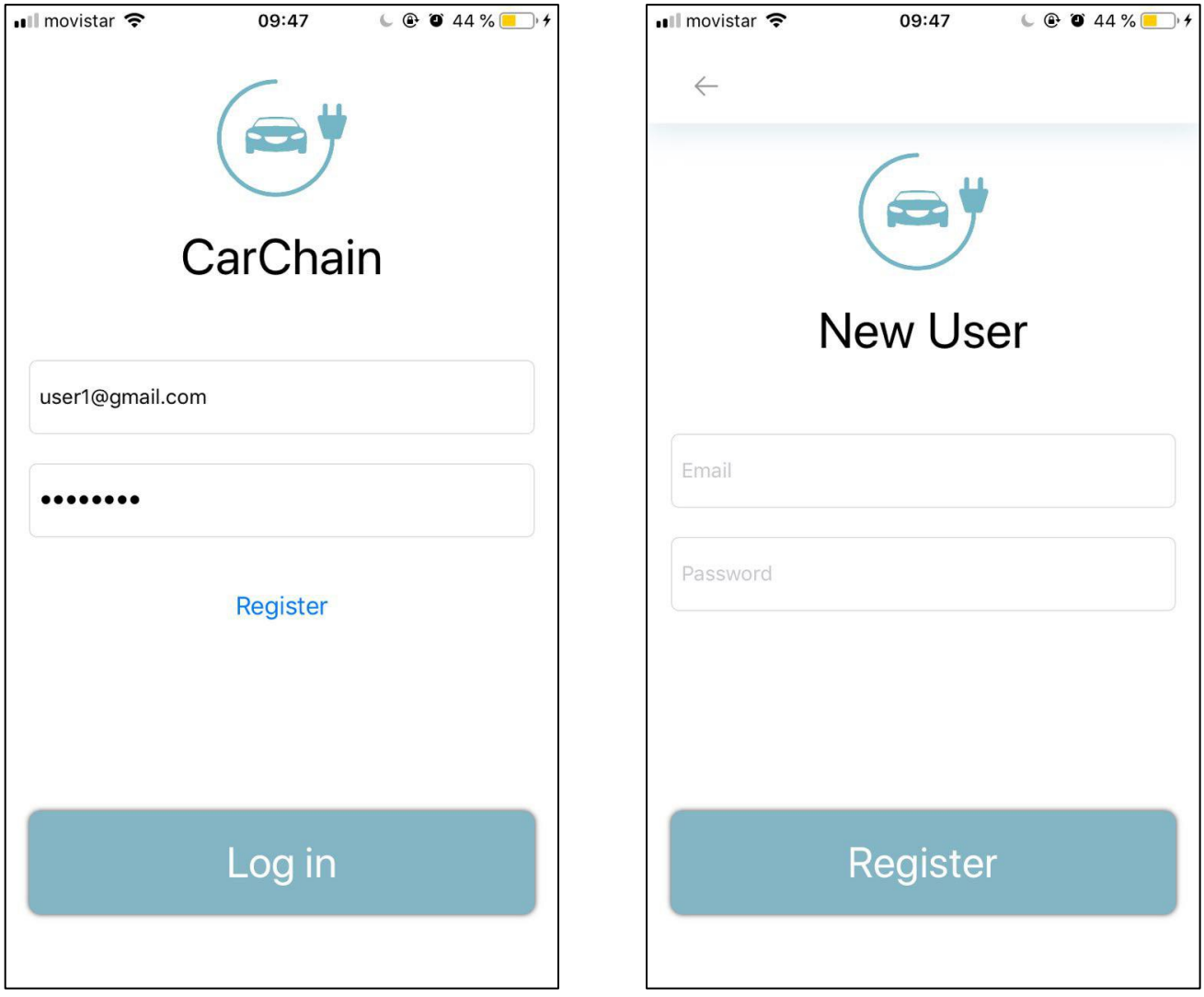


Las capturas de la figura 3.19 son un ejemplo de las estadísticas que ofrece la incorporación de Firebase dentro de la aplicación. Se envían por defecto a la plataforma a través de la app y se generan automáticamente ahorrando al usuario le gestión manual de las analíticas. Estas analíticas podrían ser útiles de cara a trabajos futuros para mejorar la aplicación utilizando el foco de los usuarios en términos de uso o de ubicaciones.

Capítulo 4 - Demo

En este capítulo se muestran unas capturas de pantalla de la aplicación como demo con el objetivo de presentar los distintos flujos de la aplicación y las diferentes casuísticas que se pueden dar. En primer lugar la pantalla inicial de la app es la sección de *login* y registro de nuevos usuarios, en las cuales hay dos campos de texto para usuario y contraseña y un botón de *login*. En la misma pantalla existe un botón de registro que navega hacia la pantalla de registro de nuevo usuario. En la figura 4.1 se pueden ver las dos pantallas descritas.

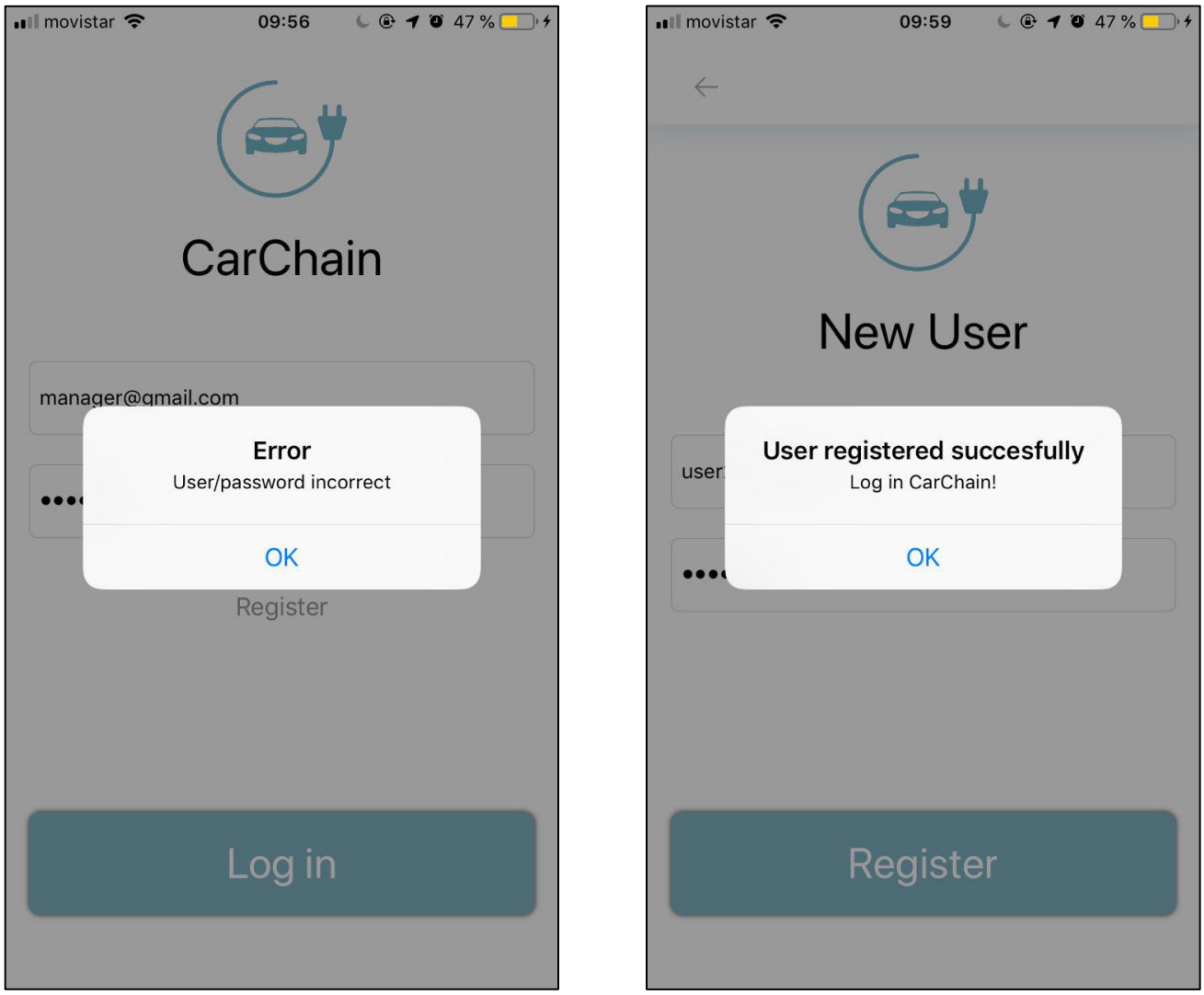
Figura 4.1 Pantallas de *login* y registro de nuevo usuario



Estas pantallas cuentan con alertas informativas en caso de que por ejemplo el usuario o la contraseña no sean correctos a la hora de realizar el *login* o en caso de que el registro se haya realizado correctamente.

En la figura 4.2 se muestran las mismas pantallas que la figura 4.1 pero con las alertas informativas para ofrecer al usuario más información acerca de lo que está sucediendo.

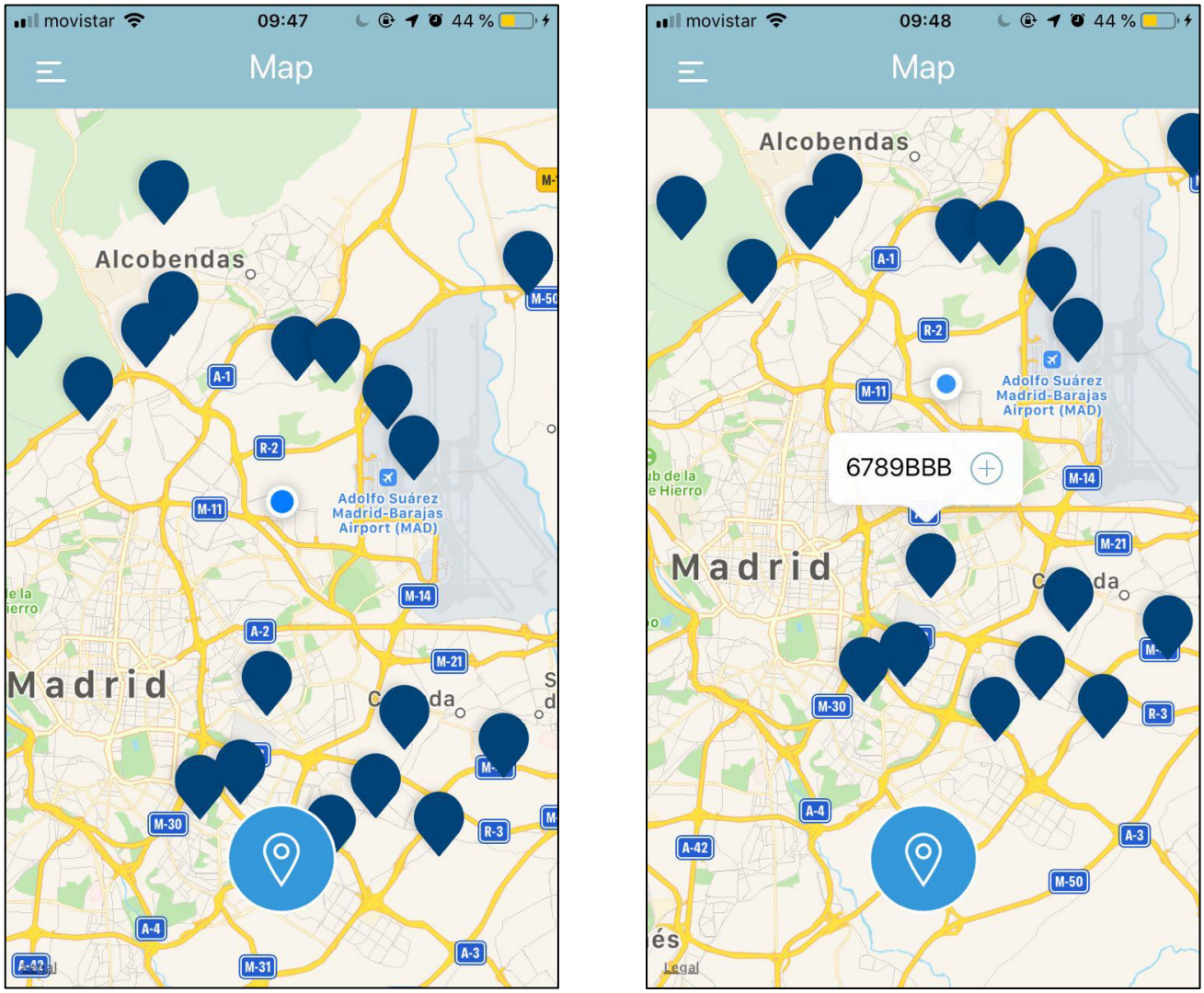
Figura 4.2 Pantallas de *login* y registro de nuevo usuario con alertas informativas



Una vez realizado el *login* correctamente se entra en la parte privada de la aplicación ya que es necesario contar con un usuario registrado correctamente para poder acceder. La pantalla principal de la app cuenta con un mapa de la ubicación del usuario que muestra los vehículos disponibles que tiene alrededor de su posición. El usuario puede interactuar con el mapa ya sea moviéndolo, acercándolo o alejándolo para visualizar vehículos más lejos de su posición. En la parte inferior de la pantalla hay un botón que centra el mapa de nuevo en la ubicación del usuario. El usuario tiene la posibilidad de alquilar el coche que quiera siempre y cuando cuente con el crédito necesario para realizar el alquiler.

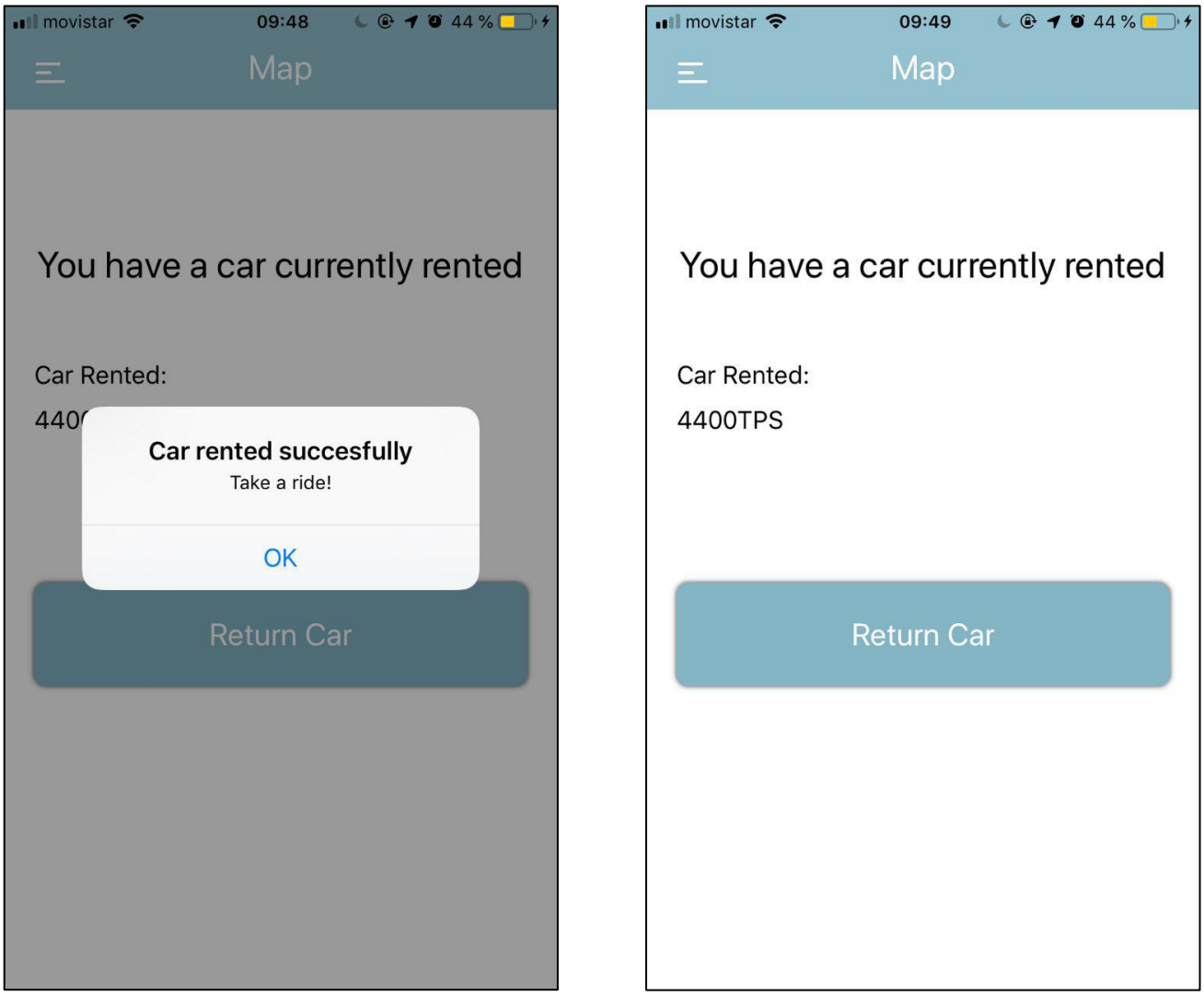
Cuando se pulsa en un “globo” que representa un vehículo aparece una vista por encima en la que se encuentra la matrícula del vehículo para poder localizarlo correctamente y un botón con el símbolo “+” que realiza la acción de alquilar el coche. En la figura 4.3 aparece un ejemplo de las pantallas descritas en las que se puede ver el mapa con los vehículos disponibles cerca de la ubicación del usuario.

Figura 4.3 Pantallas del mapa con la ubicación del usuario y vehículos disponibles



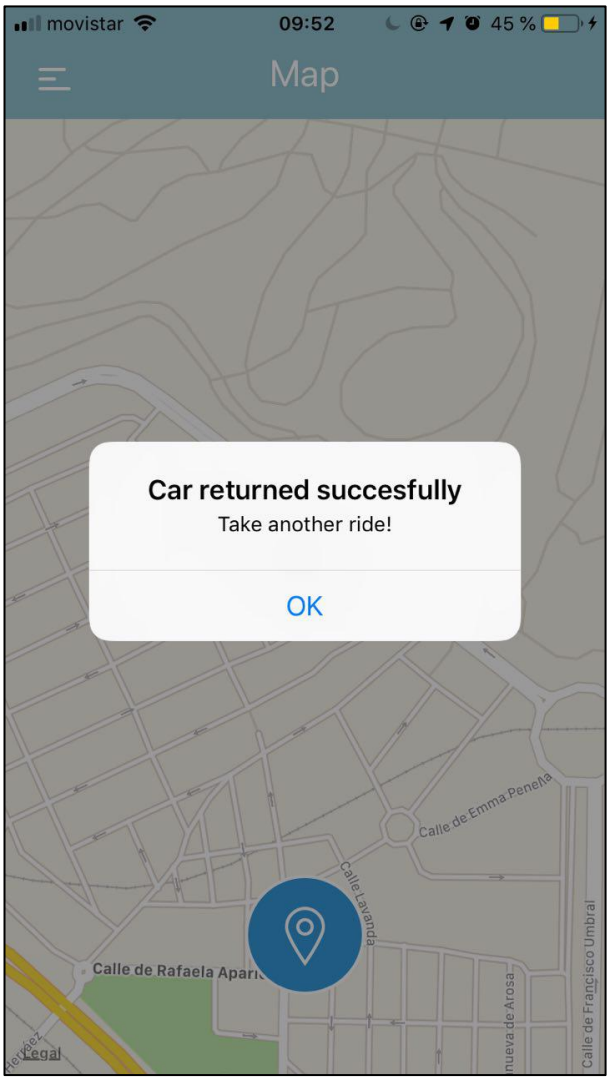
Si el usuario pulsa en el botón de alquilar vehículo se realiza una petición al *Smart contract* y en caso de se haya realizado correctamente se muestra una alerta descriptiva y aparece una vista por encima del mapa con la opción de devolver el vehículo. En esta pantalla aparece la matrícula del vehículo alquilado. En la figura 4.4 se muestran unas capturas de pantalla de la aplicación de un usuario que ha alquilado un vehículo.

Figura 4.4 Pantallas de alquiler de vehículo



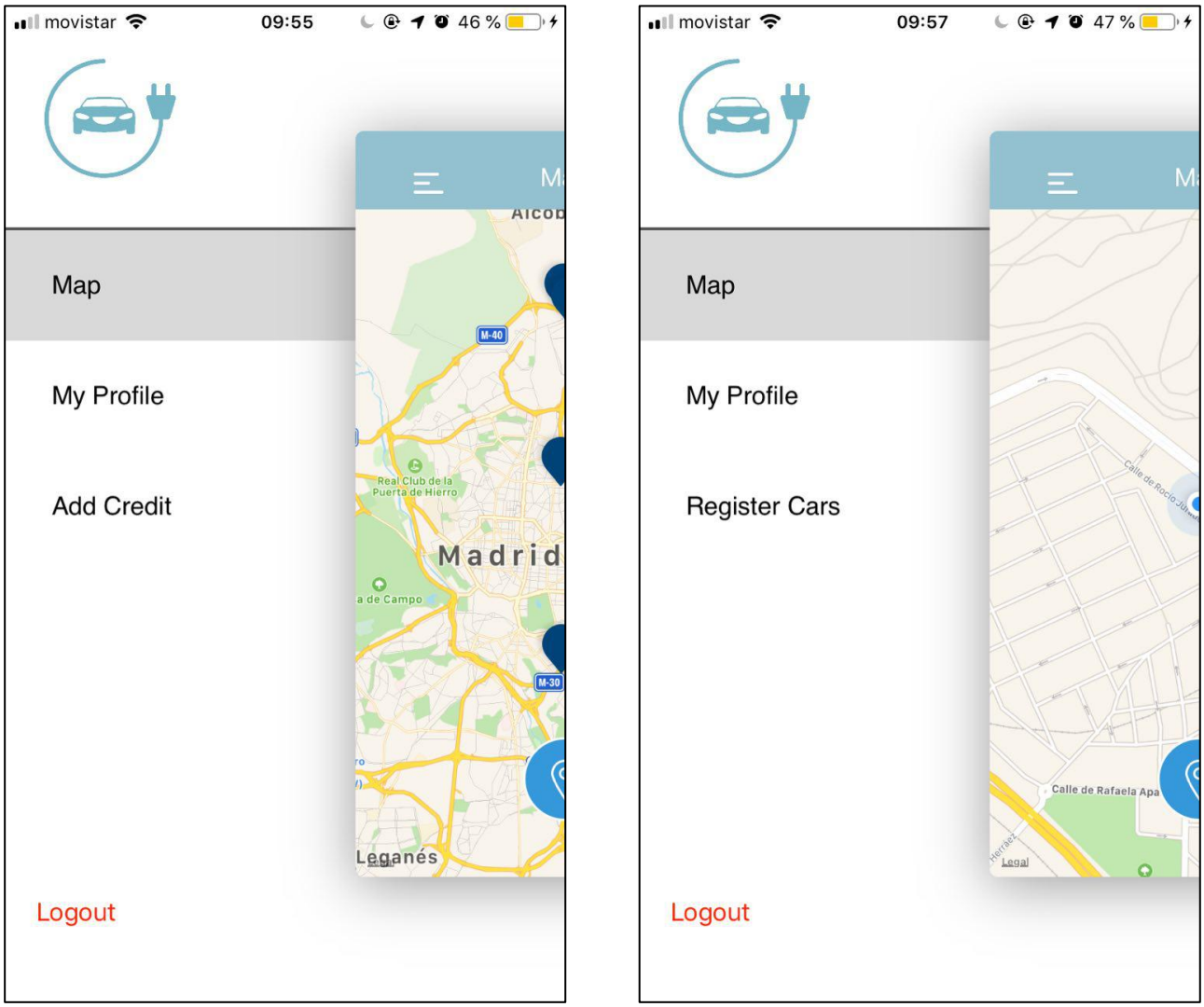
Si el usuario desea devolver el vehículo solo debe pulsar el botón de devolución de vehículo y se realiza de nuevo la petición al Smart contract, en caso de que todo haya funcionado correctamente se muestra de nuevo una alerta informativa y se esconde la pantalla del vehículo alquilado mostrando nuevamente el mapa. En la figura 4.5 se muestra un ejemplo de la acción descrita.

Figura 4.5 Pantalla de devolución de vehículo



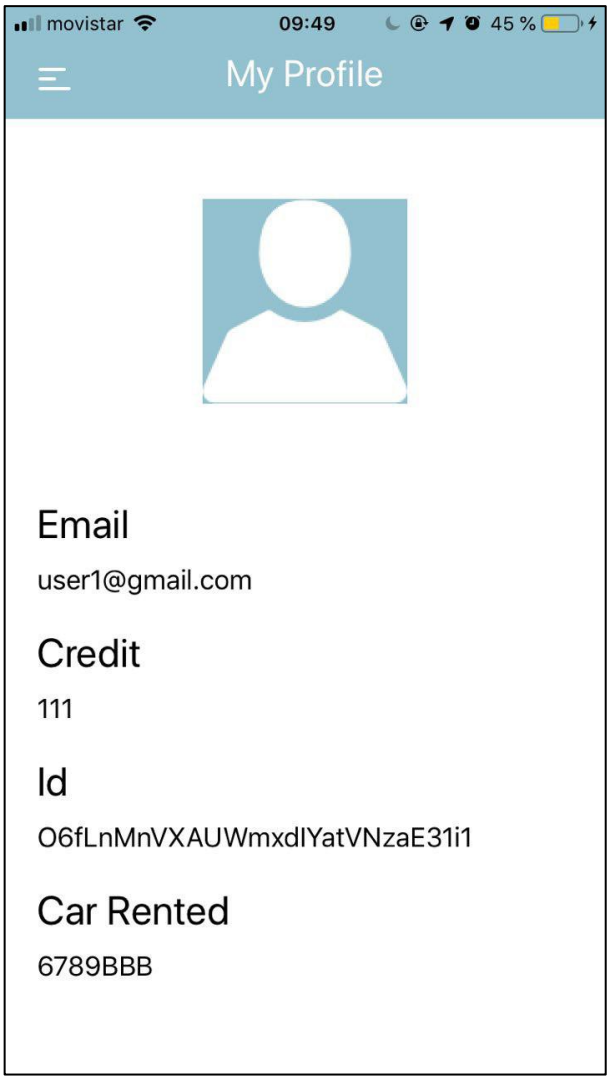
La aplicación cuenta con un menú en la parte izquierda al que se accede a través del botón del menú que se encuentra en la parte superior pegado al lado izquierdo. Este botón muestra el menú que es diferente según el rol del usuario, en caso de que el usuario no cuente con el rol de manager tendrá la capacidad de añadir crédito a su cuenta y en caso de que sea manager el usuario tendrá la capacidad de registrar nuevos vehículos. El menú cuenta con las opciones de acceder a la pantalla del mapa, a la pantalla del perfil del usuario y a la pantalla de agregar crédito o registrar nuevos coches dependiendo del rol del usuario. Además en la parte inferior del menú hay un botón de *logout* para que el usuario pueda salir de la parte privada de la aplicación y acceder de nuevo a la pantalla de *login*. En la figura 4.6 se muestran unas capturas de pantalla de los distintos tipos de menú según el rol del usuario.

Figura 4.6 Diferentes tipos de menú según rol del usuario



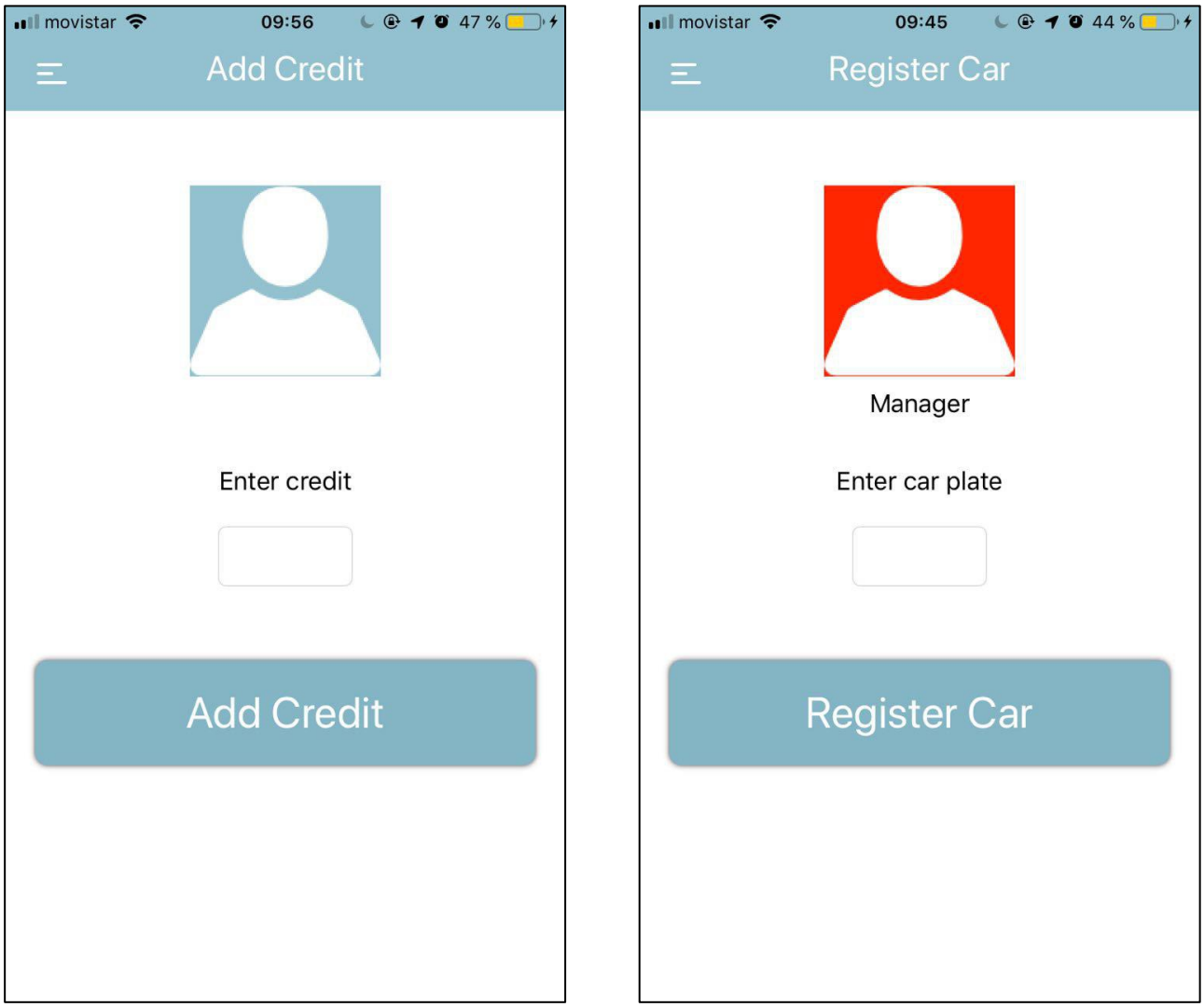
En la pantalla del perfil del usuario se muestra información del mismo, como por ejemplo la dirección de correo del usuario con el que se accede a la parte privada de la aplicación, el crédito disponible con el que cuenta, su identificador único y la matrícula del coche que tiene alquilado, en caso de que así sea. En la figura 4.7 se muestra un ejemplo de la pantalla de perfil de un usuario que tiene un crédito de 111 y tiene un vehículo alquilado con matrícula 6789BBB. En caso de que el usuario no tenga ningún vehículo alquilado se muestra el símbolo "-" en la sección donde aparece la matrícula. El crédito del usuario va actualizándose en caso de que el usuario alquile nuevos vehículos o en caso de que el usuario realice nuevos ingresos de crédito.

Figura 4.7 Pantalla de perfil de usuario



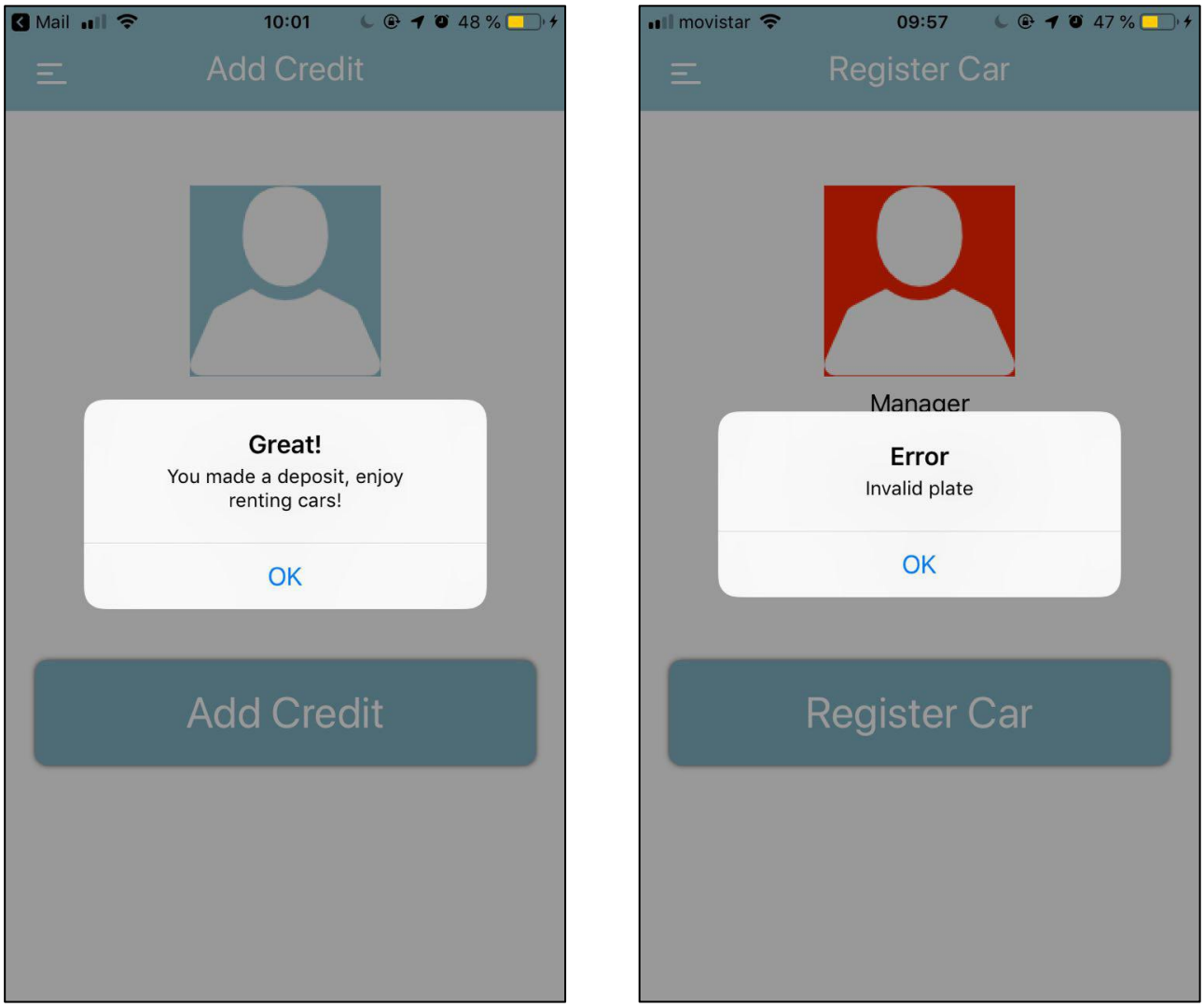
En la tercera opción del menú se encuentran las opciones de añadir crédito en caso de que el usuario no sea manager y registro de nuevos vehículos en caso de que el usuario cuente con el rol de manager. A pesar de que las funcionalidades son muy diferentes entre sí las pantallas son muy parecidas ya que todas siguen el mismo patrón de diseño. Ambas pantallas cuentan con control de texto sobre el campo de texto. En la pantalla de ingreso de crédito no se puede añadir decimales, solo se permiten números y no pueden superar las 3 cifras. En la pantalla de registro de nuevo vehículo se verifica que la matrícula sea una matrícula válida y que la matrícula no esté ya registrada a través de otro vehículo. Ambas pantallas cuentan con alertas informativas en caso de que todo haya ido correctamente o en caso de que haya habido algún fallo a la hora de realizar las operaciones. En la figura 4.8 aparecen ejemplos de las dos pantallas descritas y en la figura 4.9 aparecen las mismas pantallas una vez se ha realizado la operación y con una alerta informativa.

Figura 4.8 Pantallas de añadir crédito y registrar nuevos vehículos



Una vez se pulsa el botón y se realiza la acción correspondiente de cada pantalla se presentan las alertas informativas tal y como se muestra en la figura 4.9. Las alertas informativas muestran distintos mensajes de error o mensajes de éxito dependiendo del resultado de la operación. En caso de que se hayan realizado las operaciones correctamente tienen repercusión en las distintas pantallas de la aplicación. En el caso de ingreso de crédito se actualiza la información del usuario en la pantalla de perfil. En caso de que el vehículo se registre correctamente se actualiza la información de vehículos disponibles en el mapa.

Figura 4.9 Pantallas de añadir crédito y registrar nuevos vehículos con alertas informativas



Todas las pantallas que realizan llamadas al *Smart contract* o a Firebase para la gestión de usuarios muestran un indicador de actividad de red con el objetivo de mostrar al usuario que se está realizando una petición de datos a través de internet. Una vez la llamada devuelve los datos correctamente se quita el indicador y se actualiza la pantalla correspondiente. Estos indicadores están presentes en cualquier funcionalidad de la aplicación que se comunica a través de internet ya sea con los datos del dispositivo móvil o a través de la wi-fi. A veces las llamadas al *Smart contract* tardan unos segundos en responder por tanto se bloquea la pantalla con el indicador para que se actualice la información con la respuesta de la petición. En la figura 4.10 se muestra un ejemplo de un indicador de actividad de red en la pantalla de login a la hora de realizar la petición a Firebase.

Figura 4.10 Pantalla de login con indicador de actividad de red

Las capturas de pantalla de esta sección se realizaron una vez el proyecto ya estaba funcionando correctamente y después de realizar una batería de pruebas con el objetivo de encontrar distintos fallos que pudieran darse y aplicar ciertas mejoras de diseño a la app.

Capítulo 5 - Conclusiones y trabajo futuro

Respecto a la conclusión personal del proyecto se ha conseguido lo que se propuso inicialmente que era conectar la tecnología *blockchain* con una aplicación móvil para dispositivos móviles iOS, por lo que la conclusión de este trabajo es satisfactoria debido a que tras mucho esfuerzo y superación se ha conseguido realizar el principal objetivo y ha servido para utilizar distintas tecnologías y lenguajes de programación logrando la conexión de todas ellas, cumpliendo con las expectativas iniciales y aprendiendo diferentes aspectos técnicos tanto en *Smart contracts* como en *blockchain* y en desarrollo de aplicaciones móviles.

Como conclusiones técnicas destaca la versatilidad y continua evolución en la que vive esta tecnología a día de hoy, no tanto *blockchain* en general sino más concretamente los *Smart contracts*. No llega a ser inestable pero los continuos cambios implican a veces muchas diferencias entre versión y versión y esto provoca que el software que se diseña con esta tecnología quede desactualizado al poco tiempo. Como solución debería implantarse una primera versión final de la que se pueda partir como gran base. Aún le quedan muchos años de vida a los *Smart contracts* ya que prácticamente acaban de emerger y por tanto tienen muchos huecos que cubrir en distintos caso de uso de la vida cotidiana y en soluciones de negocio.

Sin embargo los contratos inteligentes tienen algunas limitaciones debido a que las operaciones que se realizan al ejecutar funciones tienen cierto coste de gas, por ello se debe tratar de evitar hacer demasiadas operaciones y optimizar los algoritmos con el objetivo de realizar el mínimo número de operaciones. Es por esto por lo que no es aconsejable utilizar *arrays* dentro de los Smart contracts y recorrerlos con un bucle, ya que si ese bucle crece demasiado, para recorrerlo de principio a fin se gastaría demasiado gas. Por otro lado, también son un poco lentos a la hora de actualizarse. Por ejemplo en este proyecto si se invoca a la función de alquilar un coche, que lo que hace es buscar el usuario y actualizar el valor del coche alquilado y posteriormente se invoca a la función de consulta de coche alquilado, la mayoría de veces el valor no está actualizado, puede llegar a tardar hasta 20 segundos aproximadamente. Es por esto que las funcionas de consulta no devuelven siempre el valor que deberían porque es posible que haya algún cambio en un valor que no ha sido actualizado.

Los *Smart contracts* no tienen por qué aplicarse a todos los ámbitos de negocio, existen casos de uso en los que son útiles pero hay muchos otros que no, por tanto, que se hable mucho de ellos a día de hoy no significa que todo software nuevo tenga que utilizar un contrato inteligente. Se debe tener en cuenta las características que presentan estos elementos a la hora de decidir usar esta tecnología ya que estos contratos inteligentes no pueden cambiarse una vez son desplegados por lo que se deben probar exhaustivamente antes de desplegarlo y se deben valorar todos los casos de uso y los riesgos que puedan ocurrir al implementar software con *Smart contracts*.

Respecto al *framework* que conecta la aplicación móvil con el *Smart contract* ha costado mucho trabajo inyectarlo en el proyecto satisfactoriamente ya que se han tenido que utilizar 3 gestores de dependencias distintos y ha sido muy costoso conectar con las funciones de envío de transacción y además no abunda la documentación de librerías de este tipo debido a su poco de tiempo de vida. De hecho antes de la biblioteca que se ha utilizado finalmente se probaron otras 2 sin éxito.

Respecto a la parte *front-end* la arquitectura MVVM-C con programación reactiva a través de los *frameworks* RxSwift y RxCocoa permite implementar módulos de manera sencilla y rápida manteniendo una arquitectura por capas bien desacopladas y escribiendo menos código que realizando programación imperativa.

Como trabajo futuro el proyecto puede abarcar distintas líneas de trabajo. Por un lado, la más ambiciosa puede llegar a implementar la totalidad del proyecto con vehículos reales como prueba de concepto siempre y cuando se valorasen bien todos los casos de uso y riesgos que todo ello conllevaría. Para ello debería implementarse un *Smart contract* más depurado para cubrir las funciones que fueran necesarias teniendo en cuenta la cantidad de usuarios y de vehículos que podrían llegar a abarcarse. También se podría mejorar la parte *front-end* a través del desarrollo de la app para sistemas operativos Android y mejorando los diseños de las pantallas.

Por otro lado esta investigación con los contratos inteligentes puede aplicarse a otro ámbito de negocio que resulte útil. Para ello se debería implementar un *Smart contract* nuevo y una nueva app móvil, aprovechando las interacciones entre la aplicación y el *Smart contract* que se han realizado en este proyecto ya que serían muy similares.

Capítulo 6 - Introduction and motivation

Despite the fact that the term blockchain was born between 2008 and 2009 by the person or organization called Satoshi Nakamoto [1], it began to be heard more strongly with the bitcoin and cryptocurrencies revolution in 2017 when it arrived to be worth $ 20,000 each unit of the bitcoin virtual currency also known as BTC [2].

In addition to the technical aspects that represents this concept is a word that is fashionable in recent years. The name itself does not make it very clear what exactly it is. However, it is a new concept in computer science that poses a revolution in a large number of areas of daily life such as the economy. One of the main objectives of this technology is to eliminate intermediaries from money transactions. A very simple example could be:
Person A wants to send money to person B; one of the most comfortable solutions available today would be a bank transfer. However, this requires the intervention of third parties, in this case the banks, which are centralized entities on which one depends when carrying out capital transactions of this type.
This management necessarily has roles that might not appear if this operation had been carried out through a chain of blocks, where intermediaries are eliminated and management is decentralized. Applying these operations in a blockchain causes that the control of the process belongs to users and not to external entities.

It could be understood in a summarized and simple way as a huge database or account book in which all records are interlinked with each other and encrypted to maintain the security and privacy of transactions as well as the identity of the users who participate in it. In order for this whole system to be stable, reliable and work properly, it needs a P2P network of nodes communicated between them. All these nodes contain the same blockchain, so that the blocks that are added to the chain are permanently registered in it and cannot be modified. Each time a new valid block is created, it is added to the chain and synchronized with the rest of the nodes that check its validity. Since all the blocks depend on the previous one, security is guaranteed against an attempt of fraud by some node, since the rest of nodes would not accept the new block.
However, money transactions are not the only area where the blockchain can be applied. The Ethereum network proposes a solution in which transactions can be Smart contracts, which allow the definition of transactions of different types, replacing products and services that depend on third parties.

Since 2017 the research of this technology has been progressively increasing and is already present in a large number of projects from different areas. These Smart contracts offer useful solutions today and are already being used in multiple fields with different objectives:

- The Japanese government has a project based on property registers through blockchain [3].
- The well-known Spotify application bought a company specialized in this technology in 2017 to address a solution in the management of payments and authorizations of its platform [4].
- In healthcare, most technologists and health professionals see in blockchains the ideal option to record medical records in a safe and confidential manner [5].
- In public and government services, there are already blockchain platforms aimed at counting votes in a presidential election in a transparent manner and avoiding fraud [6].

The main objective of this work is to combine different leading edge technologies to develop a useful and stable project that proposes a business solution that can be used nowadays in a specific field.

The result presented in this project implements a complete platform named CarChain that provides a car rental service. Through a Smart contract within the Ethereum blockchain network [7] as back-end, which is responsible for information management within the Rinkeby test network [8]. The user's communication with the back-end is made through a mobile application for mobile devices with iOS operating system as front-end, which is responsible for managing the visual interfaces, and the interaction and connection with the Smart contract.
The CarChain project can be found through the GitHub repository: https://github.com/PabloBlanco10/BlockchainApp. This project is governed by the MIT license, which is a permissive software license allowing for the reuse of software.

The business solution described resembles the well-known companies Car2Go [9] and eMov [10]. However, as a novelty to these existing systems, an investigation of the optimization of the system and the advantages that it could involve maintaining the management of the information and the rental data of the vehicles through an intelligent contract is proposed

Within the platform there are two differentiated roles, the manager role and the user role. The manager role has the functionality to register new cars, but cannot rent them, since its objective is only to manage the vehicles of the platform through the mobile application. The user role cannot register new cars, its capabilities within the application are limited to rent and return of cars and add credit to your account in case you want to rent a larger number of cars. Each rental costs a credit and a user can only rent a car at the same time. The application has login and user registration screens.

The main screen of a logged-in user's application consists of a map centered on the user's location as long as the user has consented to the device's location permits. On the map appear available cars around the user and can choose any available car. In case the user rents a car the map screen disappears and a view appears showing the license plate of the rented car and the option to return it. There is also a user profile screen showing the user ID, the email address, the available credit and if there is a rented car or not. In addition there is a screen in which the user can add credit to his account. In the main menu there is also the logout option in case the user wants to leave his account.

In the following sections of this document all the functionality of the application and information management is detailed, both vehicle rental and user management. There are also see screenshots of the different sections and technologies that CarChain has.

In chapter 2 the technologies used in this project are described without going into detail on how they have been used for the implementation of the platform.
Chapter 3 describes the design and implementation of the project, which means, the overall architecture that the project follows, it goes into depth in the different parts of the project and the details of how the technologies have been used for the correct functioning of the platform. There

are also examples of interactions with the deployed Smart contract and with which the entire management of information about car rental is treated. Screenshots of the different IDEs that have been used are shown and also code sections of the different parts can be seen.
Chapter 4 shows a visual demo of the application as well as the flows it follows and its behavior in different situations.
Chapter 5 details the final conclusions once the platform has been fully implemented and tested and describes examples of future work.

Capítulo 7 - Conclusions and future work

Regarding the personal conclusion of the project the goal has been achieved, the objective was to connect the blockchain technology with a mobile application for iOS mobile devices, so the conclusion of this work is satisfactory because after much effort and improvement it has been managed to realize the main objective and has served to use different technologies and programming languages making the connection between them, achieving the initial expectations and learning different technical aspects in both Smart contracts and blockchain and mobile application development.

As technical conclusions highlights the versatility and continuous evolution in which this technology lives nowadays, not so much blockchain in general but more specifically Smart contracts. It does not become unstable but the continuous changes sometimes imply many differences between version and version and this causes that the software that is designed with this technology is outdated in a short time. As a solution, a first final version should be implemented as a big base. Many years of life remain for Smart contracts, as they have practically just emerged and therefore have many gaps to cover in different cases of daily life use and business solutions.

However, Smart contracts have some limitations due to the fact that the operations carried out when executing functions have a certain gas cost, so it must be tried to avoid doing too many operations and optimize the algorithms in order to perform the minimum number of operations. This is why it is not advisable to use arrays within the Smart contracts and to go through them with a loop, since if that loop grows too much, too much gas would be spent to read it from beginning to end. On the other hand, they are also a bit slow when it comes to updating. For example, in this project, if the function of renting a car is invoked, what it does is search for the user and update the value of the rented car and then invoke the rented car query function, most times the value It is not updated, it can take up to 20 seconds approximately. This is why the query functions do not always return the value they should because there may be some change in a value that has not been updated.

Smart contracts do not have to be applied to all areas of business, there are use cases where they are useful but there are many others that do not, therefore, their popularity nowadays does not mean that all new software have to use a Smart contract. Their features must be taken into account when deciding to use this technology, since Smart contracts cannot be changed once they are deployed, so they must be thoroughly tested before deployment and all use cases and risks that may occur when implementing software with Smart contracts must be evaluated.

Regarding the framework that connects the mobile application with the Smart contract, it has been very hard to inject it into the project satisfactorily since 3 different dependency managers have had to be used and it has been very expensive to connect with the transaction sending functions and, furthermore, documentation from this type of libraries is not abundant due to its short life. In fact, before the library that was finally used, 2 others were tested without success.

Regarding the front-end, the MVVM-C architecture with reactive programming through the RxSwift and RxCocoa frameworks allows modules to be implemented in a simple and fast way,

maintaining a well-decoupled layered architecture and writing less code than performing imperative programming.

As future work, the project can cover different lines of work. The most ambitious side would be to implement the entire project with real vehicles as proof of concept as long as all the use cases and risks that all this entails would be well valued. For this purpose, a more refined Smart contract should be implemented to cover the functions that were necessary, taking into account the number of users and vehicles that could be covered. It could also be improved the front-end through the development of the app for Android operating systems and improving the designs of the screens.

On the other hand, this research with Smart contracts can be applied to another useful business area. For this purpose, a new Smart contract and a new mobile app should be implemented, taking advantage of the interactions between the application and the Smart contract that have been carried out in this project as they would be very similar.

Capítulo 8 - Bibliografía

[1] S. Nakamoto, «Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System», p. 9.

[2] «46 días tomó Bitcoin en saltar de $6900 a $20000 en 2017, ¿Se repite la historia? – CRIPTO TENDENCIA». [En línea]. Disponible en: https://criptotendencia.com/2019/05/14/46-dias-tomo-bitcoin-en-saltar-de-6900-a-20000-en-2017-se-repite-la-historia/. [Accedido: 18-may-2019].

[3] «Gobierno japonés reinventará su registro de propiedades con blockchain», *CriptoNoticias - Bitcoin, blockchains y criptomonedas*, 23-jun-2017. [En línea]. Disponible en: https://www.criptonoticias.com/aplicaciones/gobierno-japones-reinventara-registro-propiedades-blockchain/. [Accedido: 18-may-2019].

[4] J. Pastor, «Spotify sí que cree en blockchain: así funciona Mediachain, la empresa que acaba de comprar», *Xataka*, 08-may-2017. [En línea]. Disponible en: https://www.xataka.com/empresas-y-economia/spotify-si-que-cree-en-blockchain-asi-funciona-mediachain-la-empresa-que-acaba-de-comprar. [Accedido: 18-may-2019].

[5] M. Orcutt, «Blockchain technology will revolutionize medical records—just not anytime soon», *MIT Technology Review*. [En línea]. Disponible en: https://www.technologyreview.com/s/608821/who-will-build-the-health-care-blockchain/. [Accedido: 18-may-2019].

[6] «Transparencia electoral: 5 plataformas blockchain para votaciones», *CriptoNoticias - Bitcoin, blockchains y criptomonedas*, 06-may-2018. [En línea]. Disponible en: https://www.criptonoticias.com/colecciones/transparencia-electoral-5-plataformas-blockchain-para-votaciones/. [Accedido: 18-may-2019].

[7] «Ethereum», *ethereum.org*. [En línea]. Disponible en: https://ethereum.org. [Accedido: 19-may-2019].

[8] «Rinkeby: Ethereum Testnet». [En línea]. Disponible en: https://www.rinkeby.io/#stats. [Accedido: 15-may-2019].

[9] «car2go carsharing España», *car2go*. [En línea]. Disponible en: https://www.car2go.com/ES/es/. [Accedido: 19-may-2019].

[10] «Muévete de forma sostenible e inteligente por Madrid con emov». [En línea]. Disponible en: https://www.emov.eco/. [Accedido: 19-may-2019].

[11] D. Tapscott, A. Tapscott, y J. M. Salmerón, *La revolución blockchain: descubre cómo esta nueva tecnología transformará la economía global*. Barcelona: Deusto, 2018.

[12] K. Christidis y M. Devetsikiotis, «Blockchains and Smart Contracts for the Internet of Things», *IEEE Access*, vol. 4, pp. 2292-2303, 2016.

[13] BUTERIN, Vitalik, «Ethereum white paper». ethereum, 2013.

[14] W. Egbertsen y G. Hardeman, «Replacing Paper Contracts With Ethereum Smart Contracts», p. 35.

[15] C. Wei, J. Luo, H. Dai, Z. Yin, y J. Yuan, «Low-complexity differentiator-based decentralized fault-tolerant control of uncertain large-scale nonlinear systems with unknown dead zone», *Nonlinear Dyn.*, vol. 89, n.º 4, pp. 2573-2592, sep. 2017.

[16] I. Mendívil, «El ABC de los Documentos Electrónicos Seguros», p. 28.

[17] «Dapps movilizaron US$ 6.700 millones en 2018», *CriptoNoticias - Bitcoin, blockchains y criptomonedas*, 18-ene-2019. [En línea]. Disponible en: https://www.criptonoticias.com/comunidad/arte-entretenimiento/dapps-movilizaron-usd-6700-

millones-2018/. [Accedido: 15-may-2019].
[18] «Criptonoticias», *CriptoNoticias - Bitcoin, blockchains y criptomonedas*, 27-abr-2019. [En línea]. Disponible en: https://www.criptonoticias.com. [Accedido: 15-may-2019].
[19] «Litecoin - La moneda electrónica». [En línea]. Disponible en: https://litecoin.org/es/. [Accedido: 15-may-2019].
[20] «Monero», *getmonero.org, The Monero Project*. [En línea]. Disponible en: https://getmonero.org/index.html. [Accedido: 15-may-2019].
[21] «Hyperledger – Open Source Blockchain Technologies», *Hyperledger*. [En línea]. Disponible en: https://www.hyperledger.org/. [Accedido: 15-may-2019].
[22] «r3.com», *r3.com*. [En línea]. Disponible en: https://www.r3.com/. [Accedido: 15-may-2019].
[23] «Ripple - One Frictionless Experience To Send Money Globally», *Ripple*. [En línea]. Disponible en: https://ripple.com/. [Accedido: 15-may-2019].
[24] «BigchainDB • • The blockchain database.», *BigchainDB*. [En línea]. Disponible en: https://www.bigchaindb.com/. [Accedido: 15-may-2019].
[25] «The Solution», *Evernym*. [En línea]. Disponible en: https://www.evernym.com/solution/. [Accedido: 15-may-2019].
[26] «Cuestiones básicas de Ethereum | Billetera de Blockchain». [En línea]. Disponible en: https://www.blockchain.com/es/learning-portal/ether-basics. [Accedido: 09-may-2019].
[27] D. G. Wood, «ETHEREUM: A SECURE DECENTRALISED GENERALISED TRANSACTION LEDGER», p. 32.
[28] «Remix - Solidity IDE». [En línea]. Disponible en: https://remix.ethereum.org/#optimize=false&version=soljson-v0.5.1+commit.c8a2cb62.js. [Accedido: 19-may-2019].
[29] «Estructura y elementos de un contrato», *APRENDE BLOCKCHAIN*, 28-feb-2018. .
[30] «¿Qué es y para qué sirve el "Gas" en Ethereum?», *Ethereum*, 25-ene-2018. .
[31] C. G. García, J. P. Espada, B. C. P. G. Bustelo, y J. M. C. Lovelle, «Swift vs. Objective-C: A New Programming Language», *IJIMAI*, vol. 3, n.º 3, pp. 74-81, 2015.
[32] M. Wohrer y U. Zdun, «Smart contracts: security patterns in the ethereum ecosystem and solidity», en *2018 International Workshop on Blockchain Oriented Software Engineering (IWBOSE)*, Campobasso, 2018, pp. 2-8.
[33] W. Warren y A. Bandeali, «0x: An open protocol for decentralized exchange on the Ethereum blockchain», p. 16.
[34] «Firebase», *Firebase*. [En línea]. Disponible en: https://firebase.google.com/. [Accedido: 26-may-2019].
[35] N. Bozic, G. Pujolle, y S. Secci, «A tutorial on blockchain and applications to secure network control-planes», en *2016 3rd Smart Cloud Networks & Systems (SCNS)*, Dubai, United Arab Emirates, 2016, pp. 1-8.
[36] *A pure swift Ethereum Web3 library. Contribute to Boilertalk/Web3.swift development by creating an account on GitHub*. Boilertalk, 2019.
[37] «CocoaPods.org». [En línea]. Disponible en: https://cocoapods.org/. [Accedido: 25-may-2019].
[38] *A simple, decentralized dependency manager for Cocoa: Carthage/Carthage*. Carthage, 2019.
[39] A. Inc, «Swift.org», *Swift.org*. [En línea]. Disponible en: https://swift.org. [Accedido: 25-may-2019].

[40] «MetaMask». [En línea]. Disponible en: https://metamask.io/. [Accedido: 25-may-2019].
[41] «TESTNET Rinkeby (ETH) Blockchain Explorer». [En línea]. Disponible en: https://rinkeby.etherscan.io/. [Accedido: 25-may-2019].