**Etiquetado de tiempo confiable para Blockchain** https://github.com/gperezalba/TFM

## RESUMEN

En este TFM pretendemos desarrollar nuevas metodologías de desarrollo de la tecnología blockchain usando el tiempo como primitiva fundamental. Se pretende desarrollar una solución de etiquetado de tiempo descentralizado y trazable a referencias internacionales (tiempo UTC), que se ejecute en el procesador de forma confiable y segura. Se estudiará como esto permite desarrollar distintas aproximaciones en las pruebas de trabajo con objeto de mejorar la escalabilidad de la tecnología blockchain y su impacto en aplicaciones futuras.

## Conocimientos recomendados:

programación en c/c++, s.o. Linux.

Equipos:

Pc de proposito general + tarjetas Rasp Berry Pi

INDICE

1. Introducción
   1. Motivación del proyecto

Ganancia de popularidad de las criptomonedas

Los últimos años la popularidad se la lleva blockchain también

Actualmente existen varias limitaciones sin resolver de esta tecnología

Problema de escalabilidad (PoW)

Desperdicio de electricidad(PoW)

No descentralización por las minning pools

Etc

* 1. Objetivos

El problema que se pretende atajar es el de la escalabilidad

Blockchain con PoW es un método para ordenar transacciones con cuyo orden todos estén de acuerdo

No se usa el Timestamp ya que los actores (mineros) no son conocidos (no se puede confiar) y no se tiene la certeza de que usen el tiempo real de su reloj, y además, no se tiene la certeza de que los relojes de los mineros estén bien sincronizados.

Si se pudiera solventar lo anterior se podría hacer uso del Timestamp para un PoW más eficiente

Trustzone+Autenticación/Cifrado junto con software de trazabilidad de tiempo

* 1. Materiales y métodos

Trustzone

Autenticación y cifrado de código

R2CGGTTS

Se necesita dispositivo con ARM…RaspberryPi3

* 1. Organización de la memoria

1. Estado de la técnica
   1. Trazabilidad (código d Pascale de Fraigne)

Señal GPS

Satélites en common view

Trazabilidad a lab(k) o UTC

Fichero CGGTTS

* 1. Revisión de tecnologías blockchain

¿Qué es y cómo funciona blockchain?

Funciones hash, cifrado de clave asimétrica…

Conceptos clave?

¿Qué es minar un bloque?

Algoritmos de consenso (PoW, PoS)

Problemas

Problema escalabilidad cuando PoW por los 10 min no reducibles por incremento forks

Mala descentralización por minning pools

Problemas de PoS (reparto de la riqueza desigual, seguiría estando mal descentralizado porque elegirían los que más token tienen)

Latencia de la red

* 1. Trusted Code

1. Desarrollo de un software de análisis de trazabilidad
   1. Integración “bonita” del código de Pascale
2. Desarrollo de software confiable en Zedboard
   1. Ejemplo de referencia
3. Propuesta blockchain basado en tiempo confiable

PoW: orden de paqs en base al trusted timestamp

Se mencionó que pow era un mecanismo para ordenar txs o bloques

Lo que redacté del nº de forks

El algoritmo dicta que hay que quedarse con la cadena más larga… por tanto sólo se puede decidir en base a la longitud de la cadena. Si se hace uso del timestamp se puede hilar más fino pudiendo reducir tiempo de pow sin que aumenten los forks

PoS: Proof of Traceability (Trabajo future?????????????)

En lugar de que la probabilidad de minar el siguiente bloque dependa de tu riqueza, dependería de lo bien sincronizado con la red que estés.

1. Integración y resultados experimentales
2. Conclusiones
   1. Revisión de objetivos y conclusiones
   2. Valoración personal
   3. Trabajo futuro
3. Bibliografía
4. Apéndices (coste del proyecto, diagrama gant, .…).

## BIBLIO

- Código confiable:

https://software.intel.com/es-es/sgx/details

https://developer.arm.com/technologies/trustzone

https://forums.xilinx.com/t5/Xcell-Daily-Blog-Archived/Secrets-of-the-ARM-TrustZone-in-the-Zynq-All-Programmable-SoC/ba-p/454128

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

- "trusted-timestamp service"

- Trazabilidad de referencias GNSS

- Uso de Trustzone o SGX para el códgo de trazabilidad, etiquetado y/o sincronización (ptp/ntp??)

https://forums.xilinx.com/t5/Xcell-Daily-Blog-Archived/Secrets-of-the-ARM-TrustZone-in-the-Zynq-All-Programmable-SoC/ba-p/454128

https://developer.arm.com/technologies/trustzone

https://software.intel.com/es-es/sgx/details

- Smart contract basado en "trustedtimestmamps software".

# Introducción

## Motivación del Proyecto

En el año 1992, tras una reunión en Sillicon Valley, Timothy C. May publica el manifiesto cripto-anarquista que da origen al movimiento Cyberpunk. Este movimiento social es el origen de una revolución de carácter libertaria cuyo principal objetivo es reducir la intervención del Estado a su mínima expresión. Se consideraba que la protección brindada por el Estado en la relación y acuerdos entre individuos, podía ser brindada de una manera más libertaria y eficiente por la tecnología. Dicho movimiento siembra las premisas de un proyecto que surge años después, el proyecto Bitcoin.

[Manifiesto cripto-anarquista]

El 1 de noviembre de 2008 se publica un artículo/White-paperXXXXXXX titulado “Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System”. El autor (o autores) del artículo/White-paperXXXXXX, que se esconde bajo el alias Satoshi Nakamoto, decide publicarlo en una lista de correo sobre criptografía. Este es uno de los primeros documentos en los que se menciona el término *Blockchain.* Se describe como una tecnología creada con el propósito de llevar a cabo el proyecto de Bitcoin. Blockchain surge de la ingeniosa combinación de distintas técnicas creadas años atrás en el campo de la informática y la criptografía. Apoyándose en los ideales del movimiento Cyberpunk, se describe al Bitcoin como una moneda digital gobernada por unas reglas criptográficas que controlan su gestión y emisión. La tecnología blockchain garantiza el correcto funcionamiento de los aspectos clave de las criptomonedas: la puesta en circulación de la moneda y el mecanismo de gasto que garantiza que una moneda no pueda ser gastada varias veces. Anteriores monedas digitales habían intentado resolver estos dos problemas sin éxito. El proyecto Bitcoin, cuya base tecnológica es blockchain, es la primera criptomoneda capaz de resolverlos de manera totalmente descentralizada.

[Whitepaper bitcoin]

El problema del mecanismo para poner en circulación la moneda digital tiene su origen en el proyecto de Adam Back llamado HashCash. El proyecto tenía como objetivo combatir el correo *spam* haciendo uso de la técnica conocida como prueba de trabajo. La prueba de trabajo consiste en un problema matemático de resolución compleja pero cuya verificación es muy sencilla. El aspecto clave de la prueba de trabajo radica en que la dificultad del problema a resolver se puede ajustar. Es vital para cualquier moneda digital que la emisión de la misma sea predecible y constante en el tiempo. La regulación de la dificultad de la prueba de trabajo es el mecanismo por el cual se consigue ajustar la puesta en circulación. Las redes blockchain que hacen uso de la prueba de trabajo permiten que el usuario que antes resuelva uno de estos problemas emita (ponga en circulación) una determinada cantidad de nuevas monedas. El resto de usuarios de la red procederá a la sencilla verificación de la solución del problema antes de comenzar a buscar la solución a otro de estos problemas.

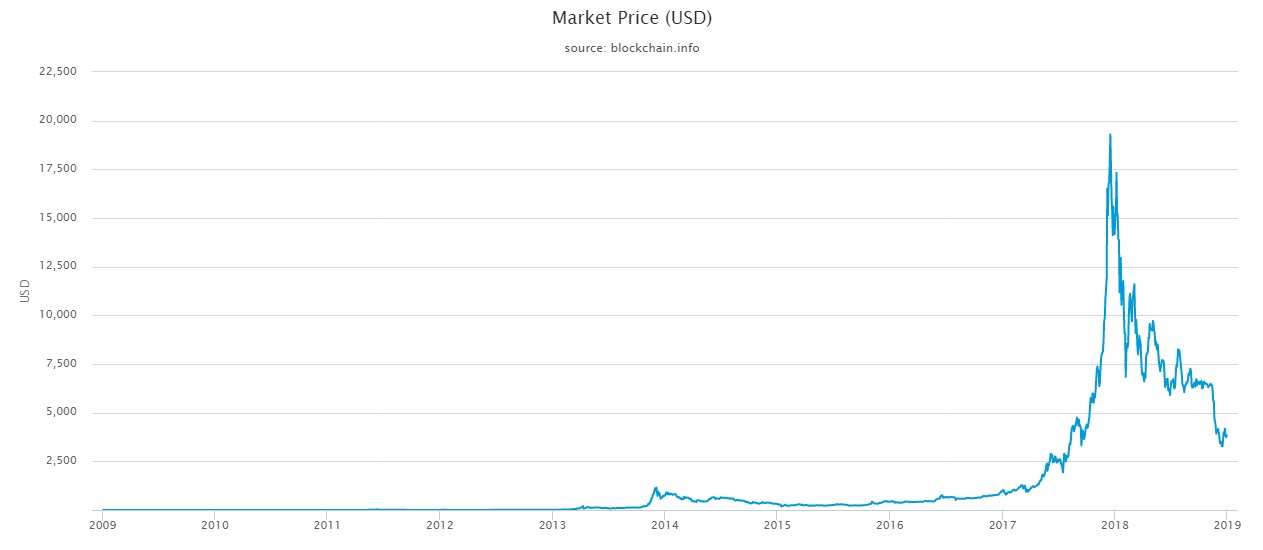
Para resolver el segundo problema se necesita que los usuarios de la red sean capaces de conocer el último estado consensuado de la blockchain. Gracias a esto, los usuarios de la red serán capaces de determinar sin un usuario de la red es el poseedor de cierta moneda o no. En otras palabras, los usuarios de la red pueden verificar si un usuario en concreto está realizando un doble gasto de una determinada moneda o no. El trabajo del investigador Nick Szabo sobre la tolerancia a fallos bizantinos se convierte en la pieza clave para que los usuarios de la red lleguen al consenso sobre el último estado global de la blockchain.

[Tema 1 Alberto Toribio Intro a blockchain curso UNIR]

La tecnología blockchain permite a los usuarios de la red tener un registro válido, inalterable y consensuado de todas las transacciones realizadas. Los bloques de la cadena contienen la información relativa a esas transacciones, es por esto que a menudo se denomina a la blockchain como libro contable distribuido.

(Cambiar Ethereum a estado de la técnica?????????????????????????????????????)

El 3 de enero de 2009 Satoshi Nakamoto crea el primer bloque de la cadena de Bitcoin conocido como bloque génesis. Desde ese momento se han estado creando nuevos bloques de la cadena y nuevos bitcoins ininterrumpidamente. Sin embargo, la popularidad de Bitcoin no ha sido la misma desde entonces. Durante los primeros años sufrió varios altibajos tanto en popularidad como en precio. Como se observa en la figura XXXXXXXX, no fue hasta finales de 2017 cuando su popularidad y precio comenzaron a incrementarse de manera exponencial. Entre 2009 y 2017 surgen muchas otras criptomonedas y proyectos basados en Bitcoin y blockchain.



El proyecto con mayor repercusión que hizo ver las posibilidades que ofrecía la tecnología blockchain más allá de Bitcoin fue Ethereum. El proyecto Ethereum, bajo el liderazgo de Vitalik Buterin, surge en 2014 con el objetivo de crear una nueva red blockchain. La red Ethereum, además de registrar todas las transacciones de su propia moneda digital (el Ether), registra pequeños programas informáticos llamados Smart Contracts. Los usuarios de la red, además de estar de acuerdo en las transacciones que se realizan en la red, deben estar de acuerdo en los despliegues de los Smart Contracts y de los resultados de la ejecución de los mismos. Con los resultados de la ejecución de los Smart Contracts ocurre exactamente igual que con las transacciones de monedas, si la mayoría de la red está de acuerdo (hay consenso) el resultado pasa automáticamente a ser válido.

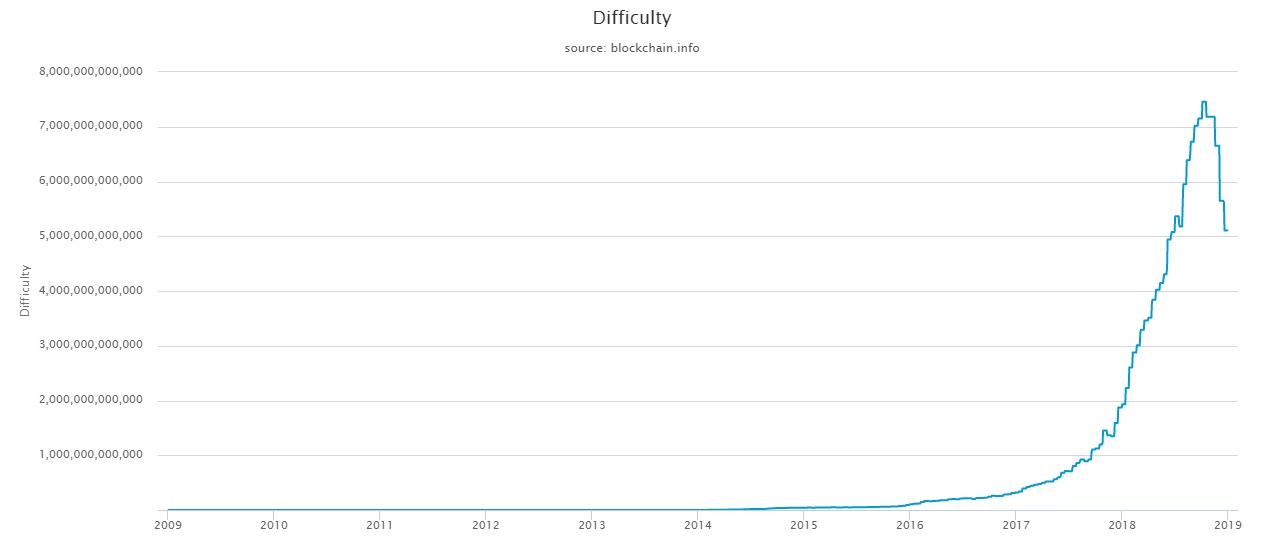
El nombre de Smart Contract puede llevar a equivocación. Los Smart Contracts no extienden todas las capacidades o características de un contrato convencional. Son programas informáticos que permiten programar una serie de instrucciones máquina propias de su máquina virtual (Ethereum Virtual Machine, EVM) para interaccionar con los datos que residen en memoria. Por lo tanto, la clase de tareas que podrán realizar los Smart Contracts será muy limitada.

Uno de los principales usos de los Smart Contracts es la creación de *tokens*. Un token es una unidad de valor que una organización crea para gobernar su modelo de negocio y dar más poder a sus usuarios para interactuar con sus productos, al tiempo que facilita la distribución y reparto de beneficios entre todos sus accionistas [william mougayar, the business blockchain]. El Smart Contract asociado a un determinado token será el encargado de programar el registro y la interacción que se tenga con el token en cuestión. En definitiva, se tendría un pequeño libro contable creado sobre un gran libro contable (la blockchain) [tema 1 UNIR].

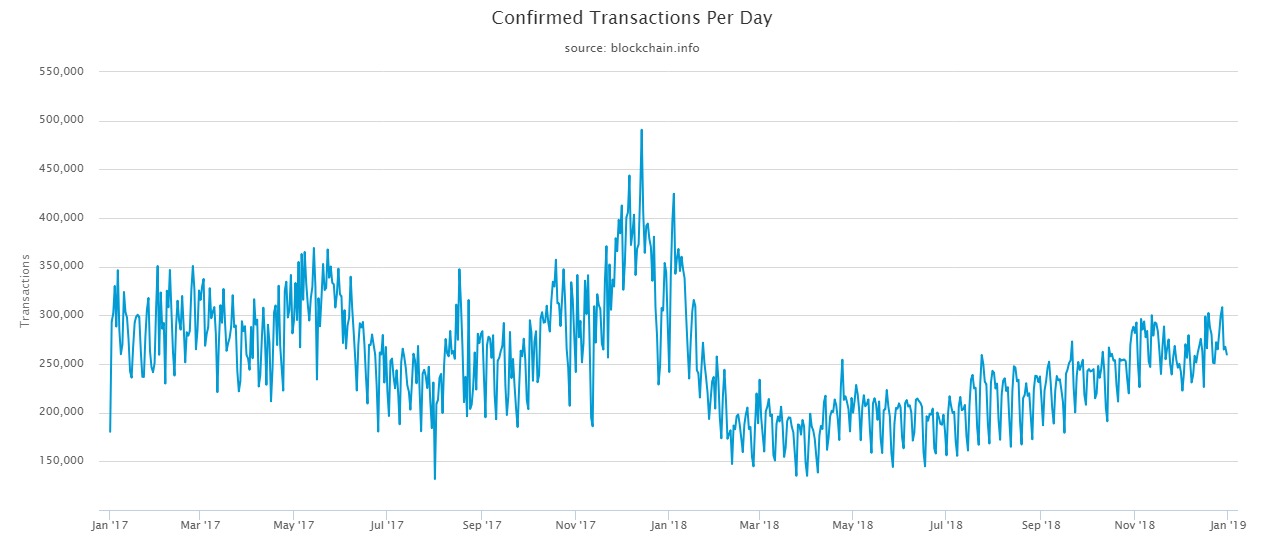
La *tokenización* de activos abre un gran abanico de posibilidades, siendo su mayor práctica las ICOs (Initial Coin Offering). Permite una nueva forma de financiación a nuevas empresas. Consiste en la preventa de su propia moneda digital o token en representación de los servicios que dicha empresa prestará en el futuro. En el 2017 la financiación obtenida por empresas que han realizado esta oferta inicial de moneda supera los 5000 millones de euros [buscar dato real].

Tras toda esta serie de puntos de inflexión que han marcado el avance de la tecnología blockchain, es necesario citar los principales problemas, aún por resolver, entre los cuales se encuentra la principal motivación de este trabajo.

La raíz de la mayoría de problemas está en la prueba de trabajo. La dificultad de los problemas de la prueba de trabajo se ajusta constantemente para hacer que el tiempo que empleará el poder computacional de todos los usuarios de la red en resolver el problema sea constante. Este tiempo tiene que ser suficiente para que la solución al problema hallada por un usuario sea difundida a la mayoría de usuarios y se adquiera el consenso. Este tiempo dependerá de las características de la red blockchain en cuestión. Cada solución a un problema permite que se añada un nuevo bloque a la cadena que contendrá la información relacionada con las transacciones realizadas. Cada bloque tiene un tamaño máximo que dependerá de cada red blockchain. Se tendrá por tanto un tiempo de creación y un tamaño máximo prefijado. Esto se traduce en una tasa máxima de transacciones por segundo (tx/s) para cada blockchain. Notar que la dificultad de la prueba de trabajo se ajusta en base al poder computacional agregado de todos los usuarios para que el tiempo sea constante. Esto significa que no por añadir más poder computacional a la red se incrementará el número de transacciones por segundo. Se observa en la figura XXXXXXXx como la dificultad de la prueba de trabajo de Bitcoin ha ido aumentando en el tiempo de manera similar a su precio y popularidad. Esto se debe a que conforme crecía el interés por la criptomoneda se incrementaba el poder de cómputo proporcionado por los usuarios a la red.



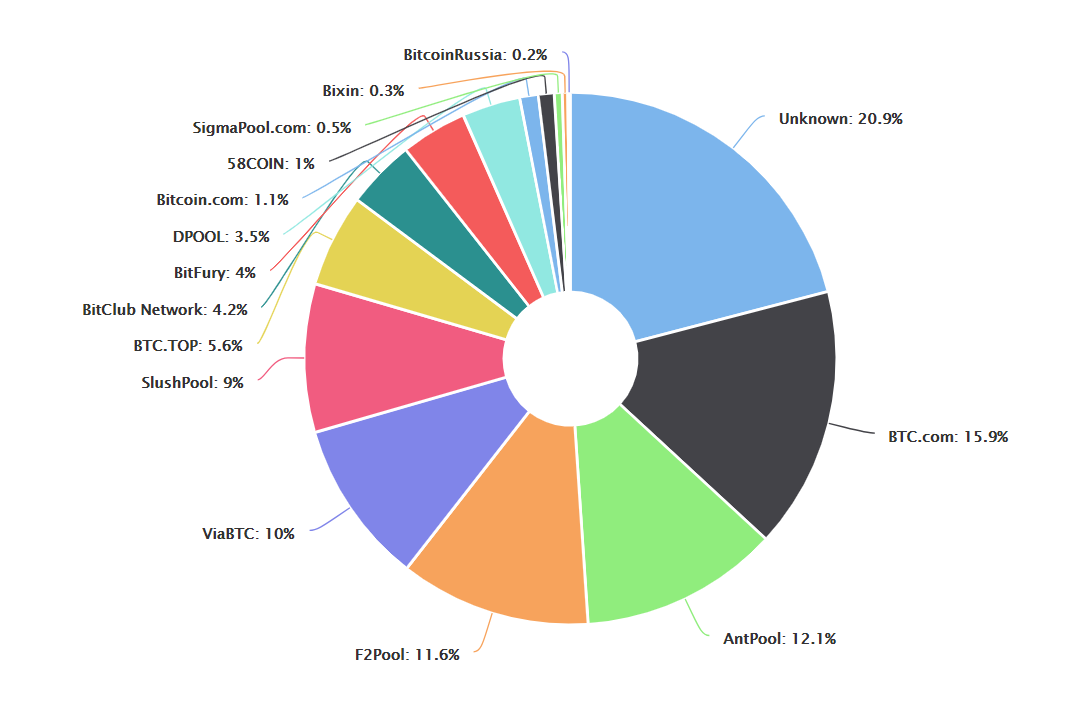
En la figura XXXXXXXX se observan el número de transacciones confirmadas por día entre 2017 y 2019, años en los que se observa el mayor incremento en la dificultad de la prueba de trabajo. Este incremento de poder de cómputo (traducido en incremento de la dificultad de la prueba de trabajo), no se traduce en un claro incremento en el número de transacciones por día.



Si un sistema no aumenta su rendimiento cuando se le añaden más recursos al mismo se dice de este que no es escalable. Es por esto que las redes blockchain basadas en prueba de trabajo son ineficientes por diseño. En base a la definición que se tiene, no se podrá conseguir que sea escalable como tal. Sin embargo, se podrán realizar cambios en el protocolo para hacer que sea lo más eficiente posible. Estos cambios en el protocolo que hagan que se consiga la máxima eficiencia posible están aún por descubrir y diseñar.

La falta de escalabilidad da paso a otro de los principales problemas, el desperdicio de energía eléctrica. La reciente popularidad de las criptomonedas y las redes blockchain ha atraído el interés de muchas personas. Cada vez son más los usuarios que suman su poder computacional a la red con el objetivo de resolver los problemas de la prueba de trabajo. Sin embargo, el protocolo define que el tiempo empleado por el poder computacional agregado de todos los usuarios sea aproximadamente el mismo siempre. En otras palabras, si se aumenta el poder computacional de la red, aumentará también la dificultad de la prueba de trabajo para que entre todos tarden ese tiempo constante en resolverla. Este aumento de la dificultad se traducirá en un aumento de la energía eléctrica empleada en resolver la prueba de trabajo. El resultado siempre será la creación de un nuevo bloque de la cadena cada cierto intervalo de tiempo, la consecuencia directa que cuánto más poder computacional tenga la red, más energía eléctrica se empleará en el proceso. Existe mucha controversia acerca de si en realidad se trata de un desperdicio de energía eléctrica o no. Sin embargo, este debate no es el tema de este trabajo.

Cuando un usuario encuentra solución a la prueba de trabajo, este obtiene la capacidad de crear cierta cantidad de nuevas monedas que se autoasignará. Esto ha provocado la creación de grupos que aúnan todo su poder computacional en un mismo usuario para así aumentar la posibilidad de encontrar la solución a la prueba de trabajo recibir estas nuevas monedas creadas que posteriormente repartirán entre todos. Surge así un nuevo problema que atenta contra la descentralización de la red. En redes como la de Bitcoin, casi la totalidad de los nuevos bloques son incluidos a la cadena por tres de estos grupos como se observa en la figura XXXXXXXXXXXXXX. Se podría decir que estos tres grupos gobiernan la blockchain de Bitcoin. A esto se le suma que, si uno de estos grupos adquiere al menos el 51% del poder computacional de la red, este podrá incluir las transacciones (válidas o inválidas) que desee a su antojo. Esto se conoce como el ataque del 51% y es posible ya que este grupo haría que la mayoría de la red esté en consenso. En la figura XXXXXXXXXXXXXX se observa el porcentaje de éxito de cada uno de estos grupos durante el día 1 de enero de 2019. Notar que esta distribución se puede considerar constante durante el último año.



La gran cantidad de inconvenientes aún por solventar o mejorar motivan este trabajo. En el siguiente apartado se definirá más concretamente el problema que se pretende atajar en el trabajo y los objetivos del mismo.

## Objetivos

En el apartado ANTERIORXXXXXXXXXXXXXXXXXXX se describen los hitos más relevantes de la historia de las criptomonedas y blockchain. Una vez se conoce el porqué de su reciente popularidad se describen los problemas entre los cuales se encuentra la principal motivación de este trabajo. En este apartado se describirá con mayor detalle el problema que se pretende atajar en este trabajo y los objetivos del mismo.

En base al protocolo actual que se tiene para las redes blockchain basadas en prueba de trabajo, ninguna de estas puede ser un sistema escalable. Si se quiere que una red blockchain basada en prueba de trabajo siga teniendo las características necesarias para sustentar una moneda digital, no se podrá conseguir que el sistema sea escalable como tal. Está diseñado para que sea ineficiente. Sin embargo, es posible hacer cambios en el protocolo para que, dentro de esa ineficiencia, el sistema sea lo más eficiente posible.

¿Por qué está diseñado para ser ineficiente? La prueba de trabajo plantea problemas matemáticos a toda la red de usuarios de manera que el primero en encontrar la solución, la distribuya, sea el creador del siguiente bloque de la cadena y se lleve una recompensa por ello. El problema está en la distribución de la solución. Se necesita que la mayoría de la red esté de acuerdo con que un usuario en concreto ha sido el primero en encontrar la solución a la prueba de trabajo y todo lo que ello acarrea. El consenso debe llegar antes de que los usuarios de la red comiencen a buscar solución a la nueva prueba de trabajo. Los usuarios forman una red P2P, por lo que la distribución de la solución llevará su tiempo antes de que la mayoría de la red alcance el consenso. Para este tiempo es para el que se ajusta la dificultad de la prueba de trabajo, y no se puede reducir ya que sino la red no alcanzaría el consenso. En la red Bitcoin este tiempo es de aproximadamente 10 minutos. Suele ocurrir que, durante este tiempo de difusión de una solución, haya otros usuarios que, sin saber que alguien ya ha encontrado una solución, encuentren otra solución al mismo problema y comiencen a distribuirla desde otro punto de la red. Habrá usuarios de la red que reciban soluciones a la misma prueba de trabajo de distintos usuarios. Sólo una de ellas se puede considerar válida, y los usuarios deben ponerse de acuerdo en cuál de ellas. Cada vez que se encuentra una solución a la prueba de trabajo, a su vez se genera una nueva prueba de trabajo relacionada con esa solución anterior. El protocolo actual dicta que cuando un usuario recibe varias soluciones válidas a una misma prueba de trabajo, este debe elegir una de estas soluciones al azar y comenzar a buscar solución a la nueva prueba de trabajo generada. Cada usuario espera que la mayoría de la red haya elegido la misma solución que él, ya que sino estará buscando solución a una nueva prueba de trabajo distinta a la de la mayoría de la red y por ende inválida. Cuantas más soluciones se encuentren a la misma prueba de trabajo, más difícil resultará alcanzar el consenso. Por lo tanto, la dificultad de la prueba de trabajo se ajustará para que el número de soluciones concurrentes sea el mínimo posible.

A priori se puede pensar que resultaría mucho más eficiente que cada usuario sellara temporalmente su solución. Así cuando otro usuario de la red tenga que elegir entre varias soluciones, podrá hacerlo en base al sello temporal y no por azar. Esto da pie a otro de los puntos clave de las redes blockchain, y es que, al tratarse de redes P2P públicas, ningún usuario debe confiar en ningún otro. Por lo tanto, hay dos aspectos de los que ningún usuario debe fiarse:

1. No se tiene la certeza de que otro usuario selle temporalmente una solución con la hora real de su reloj. Podría hacerlo con una hora previa para sacar ventaja de ello.
2. No se tiene la certeza de que la hora real que marque el reloj de un usuario esté sincronizada con la hora UTC.

El objetivo del presente trabajo consiste en solventar estos dos puntos. De conseguirlo, se podría hacer uso de un sellado temporal distribuido y confiable para las distintas soluciones que se encuentren a la prueba de trabajo. Se considera que esto permitiría a los usuarios de la red encontrar el consenso de manera más eficiente. Así se podría reducir la dificultad de la prueba de trabajo, sin que esto afecte al consenso, lo que supondría una mejora en el número de transacciones por segundo.

## Materiales y métodos

## Organización de la memoria

# Estado de la técnica

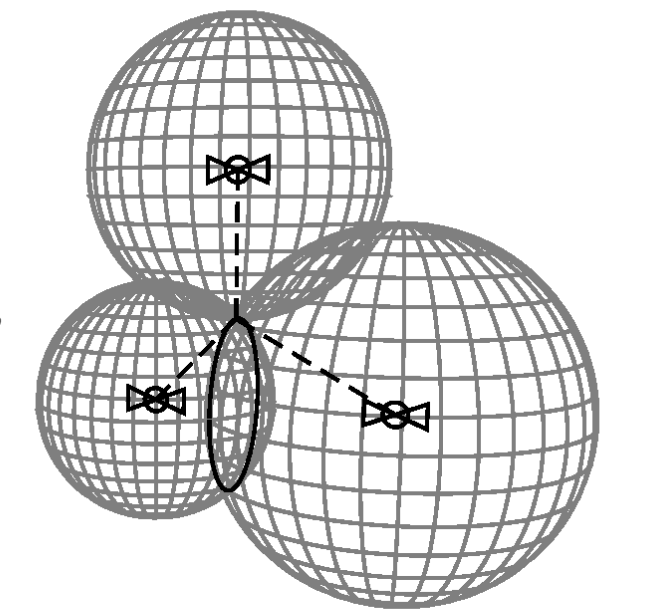
## Trazabilidad

### Global Navigation Satellite System (GNSS)

La GNSS se trata de un conjunto de satélites que permiten a un usuario situado en La Tierra calcular su posición exacta de manera bastante precisas (desde algunos metros hasta centímetros de precisión). Existen varios de estos sistemas de posicionamiento, entre ellos están GPS, GLONASS, Galileo, etc. Este tipo de sistemas consisten en una constelación de satélites encargados de transmitir unas determinadas señales sobre La Tierra. Los relojes que portan dichos satélites están sincronizados en base a una escala temporal definida por el sistema propio de cada constelación. Con esto se consigue que las señales emitidas por cada satélite compartan una misma referencia temporal. Esto es vital para el buen funcionamiento del sistema.

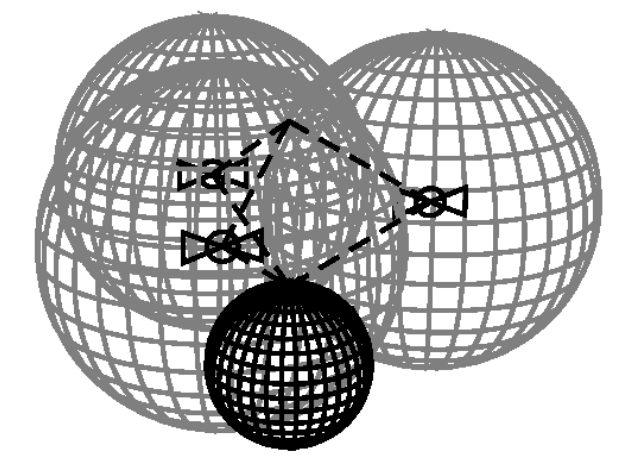
El equipo receptor de un usuario que pretende usar el sistema GNSS para determinar su posición consiste de una antena que recibe las señales emitidas por estos satélites, y un dispositivo que sea capaz de traducir estas señales recibidas en una posición. Los cálculos realizados por este dispositivo se basan en la diferencia temporal entre la emisión de la señal por parte de los satélites y la recepción por parte de la antena del usuario. Este retardo de propagación se traduce fácilmente en una distancia que separa a cada satélite de la antena, ya que la señal viaja a la velocidad de la luz.

La distancia entre un satélite y la antena no da la posición exacta de la antena, sólo informa de una esfera alrededor del satélite en la que debe encontrarse la antena. Para calcular la posición exacta se necesitan varias de estas medidas de diferentes satélites. Conociendo la distancia a la que se encuentra la antena respecto a dos satélites distintos se traduce en dos esferas distintas sobre las cuales debe localizarse la antena. Es evidente que la antena se encuentra en la intersección de estas dos esferas, que como se observa en la figura XXXXXXXx es un círculo.



La intersección de este círculo con una tercera esfera (relacionada con la distancia respecto de un satélite a la que se encuentra la antena) reducirá a 2 los posibles puntos en los que se encuentra la antena. Una cuarta esfera será necesaria para decidir cuál de esos dos puntos se corresponde con la correcta localización de la antena.

La situación descrita en la figura XXXXXXXXXXXX en la que los satélites se distribuyen espacialmente alrededor del receptor es demasiado optimista. El receptor presumiblemente se situará en la superficie terrestre, por lo que solamente tendrá visibles los satélites que se encuentren sobre él. Es necesario por tanto usar la técnica observada en la figura XXXXXXXXXXXXX



En esta situación, se tiene la intersección formada por las esferas de 3 satélites, y será la superficie de La Tierra la encargada de decidir cuál de los dos puntos de esa intersección es el correcto. La metodología es similar a la anterior, con la única diferencia de la cuarta esfera.

La descripción del funcionamiento dada del sistema GNSS se corresponde con una situación idílica, que en realidad no se corresponde con lo que ocurre en el mundo real. Existen varios problemas para los cuales se ha tenido que adaptar la metodología seguida para calcular la posición de la antena receptora.

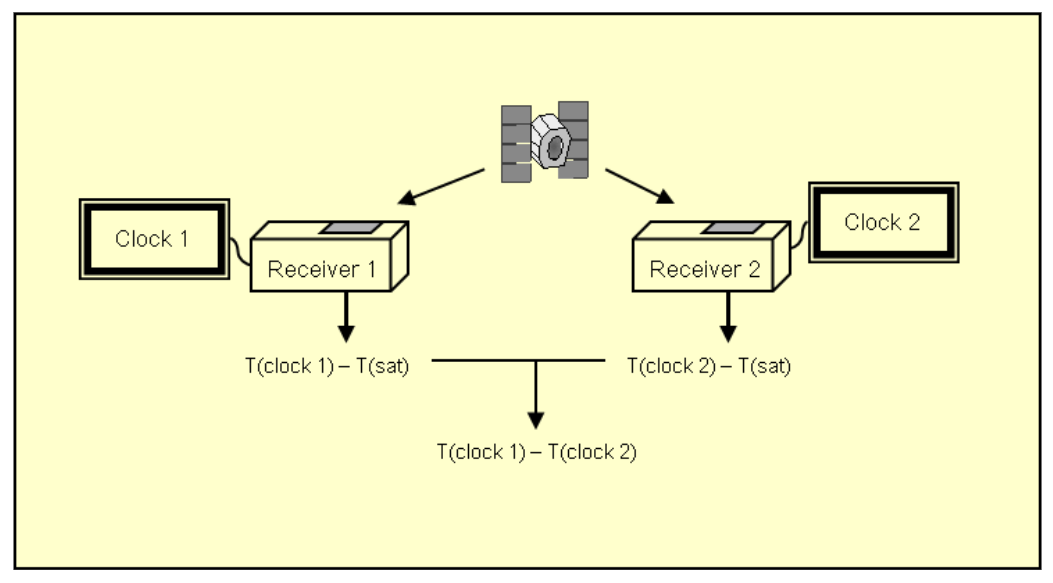
Para poder calcular el retardo de propagación de la señal enviada por el satélite, esta va sellada con el tiempo en el que se emitió. Esto implica que el receptor debe tener un reloj preciso y sincronizado con la referencia temporal de los satélites. Esta implicación no es realista, por lo que se producen pequeños errores temporales, que a la velocidad de la luz se traducen en grandes errores en la localización. Estos errores pueden llegar a hacer que las 4 esferas no se corten en un único punto común, por lo que son insostenibles. La solución consiste en una constante corrección del reloj del receptor que haga a las 4 esferas coincidir en un único punto.

Otro de los inconvenientes deriva del cálculo de los centros de estas esferas utilizadas para el cálculo de la localización de la antena. Esto implica que cada satélite debe ser capaz de calcular su posición exacta en el espacio, cosa que no sucede. Los satélites no son capaces de calcular su posición exactamente, lo que de nuevo se traducirá en que las 4 esferas no se corten en un único punto. Para solventar este inconveniente se sigue una estrategia distinta a la anterior. Se usarán los cálculos de tantos satélites como sea posible medir para calcular la posición de la antena de la manera más exacta posible.

Suponiendo que los anteriores problemas quedan solucionados, para que la medida de la posición sea precisa se necesitará que la señal viaje en el vacío. El retardo de propagación se ha supuesto para que el medio de transmisión sea el vacío, cosa que en el mundo real no será así. La señal atravesará algunas capas como la ionosfera y la troposfera. En estas capas de la atmósfera la velocidad será inferior a la velocidad de la luz. Se estudia como afectan las velocidades de propagación en estos medios y se realizan las correcciones pertinentes para solventar este problema.

### Transferencia de tiempo

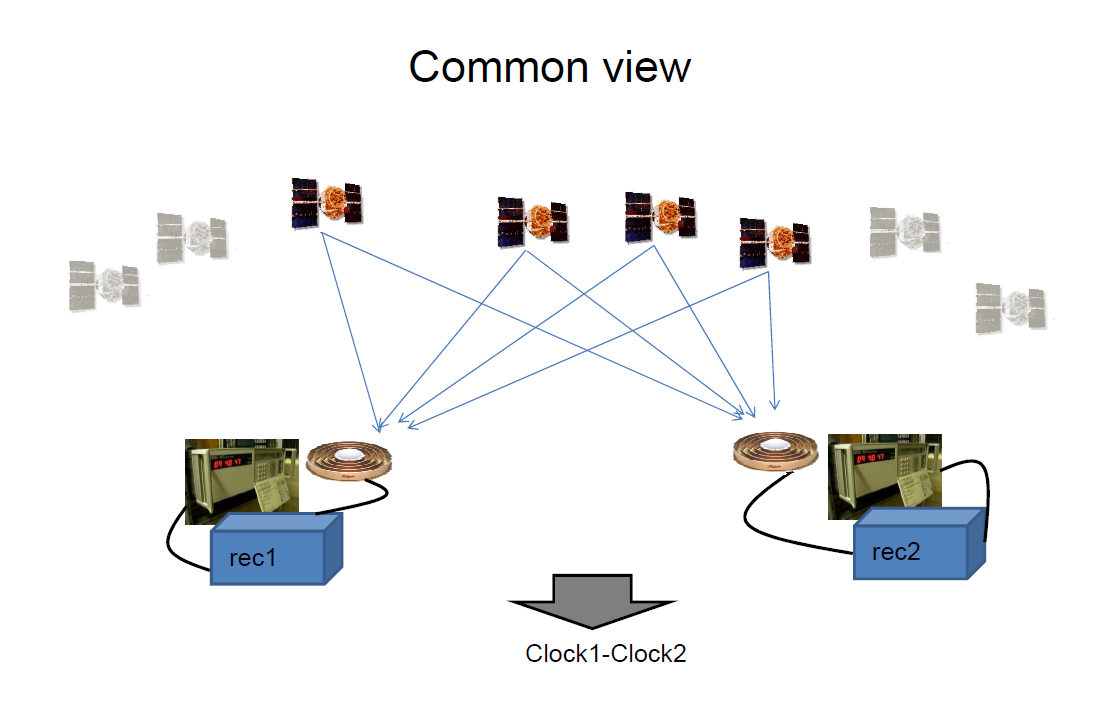
Cada sistema GNSS tiene su propia referencia temporal necesaria para calcular el comportamiento de los relojes contenidos en los satélites de la constelación. Esta referencia temporal es transmitida por dichos satélites en sus datos de navegación. Esta información se corresponde con la diferencia de la hora del reloj del satélite y la hora UTC. Surge entonces el concepto de transferencia o trazabilidad de tiempo consistente en la comparación de dos relojes remotos que han sido conectados a receptores GNSS. Si se conoce la localización del satélite y de la estación receptora, se puede deducir el error de sincronización con respecto a la referencia temporal del sistema GNSS. A su vez se pueden deducir diferencias temporales del reloj de diferentes laboratorios o estaciones. El funcionamiento básico del sistema usado para comparar dos relojes es el observado en la figura XXXXXXXXXXxx.



La figura XXXXXX representa una situación simplificada en la que se hace uso de un único satélite. Sin embargo, existen dos técnicas distintas en las que se hace uso de más de un satélite, que son las que realmente se llevan a cabo.

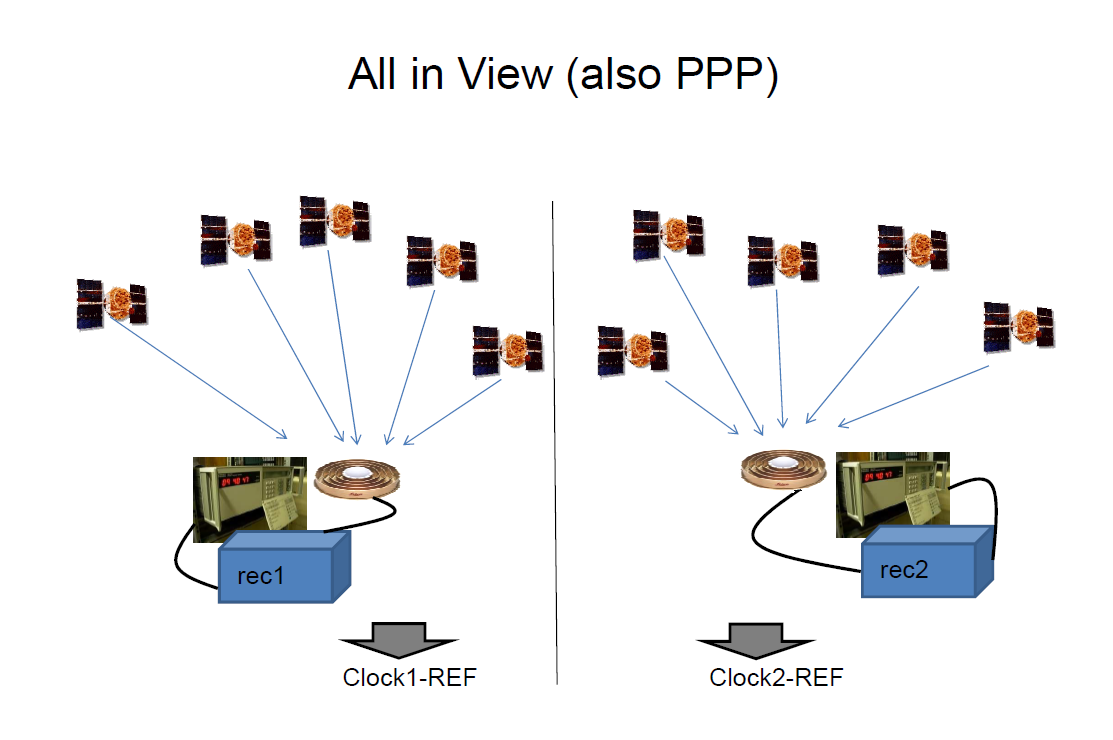
#### Satélites en Common View (CV)

Esta técnica hace uso de los satélites que son comunes durante un determinado tiempo para los dos relojes que se quieren comparar. Al ser satélites comunes se puede obtener la diferencia entre el reloj 1 y el reloj 2 en base a las medidas tomadas de cada satélite. El siguiente paso será combinar las comparaciones obtenidas con cada satélite para obtener la media del error de sincronización entre relojes. La figura XXXXXXXXXx representa la situación que se tendría al hacer uso de esta técnica.



#### Satélites All in view (AV)

Otra de las técnicas usada para la trazabilidad del tiempo consiste en obtener el error de sincronización respecto a la referencia temporal usada por el sistema. En este caso la referencia temporal será la hora UTC. Se hará uso de las medidas tomadas de cada satélite visto por el receptor. En los datos de navegación cada satélite transmitirá la información relacionada con el error de sincronización entre el reloj del satélite respecto a la referencia temporal del sistema. Por lo tanto, del error de sincronización entre el reloj del receptor y el del satélite se podrá deducir el error de sincronización existente entre el reloj del receptor y la referencia temporal del sistema. Cada reloj tomará estas medidas de todos los satélites que tenga a la vista como se observa en la figura XXXXXXXXXXX. Se obtiene así la media del error de sincronización de cada reloj con la referencia temporal del sistema. Como esta referencia temporal es común para todo el sistema, los dos relojes se estarán comparando con la misma referencia. De esto se podrá deducir fácilmente la comparación entre el reloj 1 y el reloj 2.



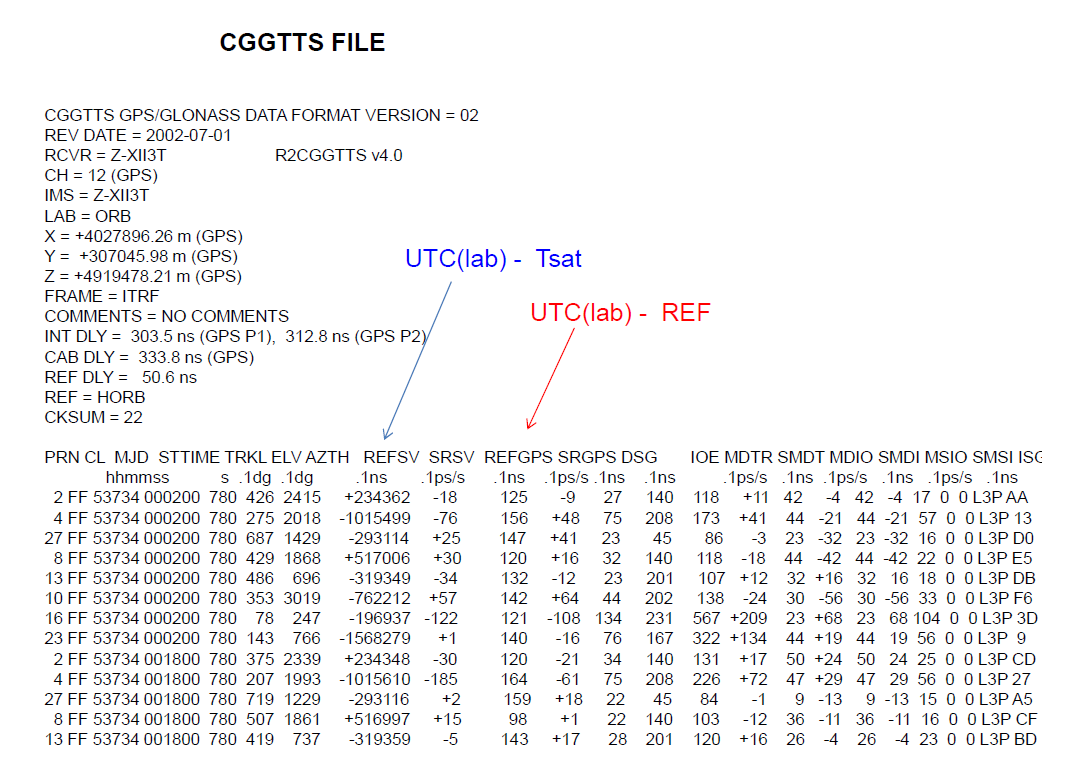
El uso de una u otra técnica dependerá principalmente de los satélites de los que se disponga. El resultado obtenido será en ambos casos el mismo, con la diferencia de la precisión. El uso de métodos como Precise Point Positioning (PPP) será uno de los principales factores determinantes para la precisión de los resultados obtenidos.

### R2CGGTTS

El uso de la transferencia de tiempo ha sido muy extendido desde los años 80. El Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) lo lleva utilizando desde entonces para comparar las realizaciones del tiempo UTC por parte de los laboratorios de tiempo, con el objetivo de generar el International Atomic Time (TAI). Otro de los usos más extendido consiste en el uso de la transferencia de tiempo para sincronizar relojes locales con las referencias legales de tiempo situadas en los Institutos Nacionales de Meteorología. Se hizo necesario crear un estándar con el que formatear los resultados obtenidos de la transferencia de tiempo para facilitar su uso. El estándar fue conocido como Common GPS GLONASS Time Transfer Standard (CGGTTS).

Los ficheros CGGTTS pueden ser directamente producidos por el receptor GNSS. También podrán ser reconstruidos a partir de las medidas y los datos de navegación proporcionadas por el receptor en forma de fichero RINEX (Receiver INdependent EXchange). Para realizar esta tarea el Royal Observatory of Belgium (ROB) ha creado una herramienta capaz de crear ficheros CGGTTS a partir de los ficheros RINEX. Este software, denominado R2CGGTTS, es distribuido públicamente a través del servidor FTP del BIPM.

Los datos relacionados con los errores de sincronización aparecen en las dos columnas indicadas en la figura XXXXXXXXXXXXx.



Si se quiere extender algo aquí ir a 05977889.pdf la primera sección describe cómo se hace más preciso, como combina gps y glonass etc

[http://www.gnss.be/how\_tutorial.php]

[http://www.gnss.be/positioning\_tutorial.php]

## Revisión de tecnologías blockchain

En el apartado de Introducción se ha dado una visión muy general de cómo surgió blockchain y de sus hitos más importantes. La explicación de las redes blockchain ha sido tan simple como ha sido posible para entender la motivación y los objetivos del proyecto. Sin embargo, es necesario conocer con más detalle el funcionamiento y las posibilidades que ofrecen los distintos tipos de redes blockchain para la correcta comprensión del trabajo. Notar que, pese a que la explicación se realizará en base a la blockchain de Bitcoin, la explicación es extensible a la gran mayoría de redes blockchain.

### Criptografía

La criptografía pese a ser prácticamente transparente para el usuario, juega un papel fundamental en la actualidad. Acciones tan cotidianas como enviar un correo electrónico o pagar con tarjeta de crédito funcionan gracias a la criptografía. La criptografía aporta seguridad a estos procedimientos. ¿Por qué se confía en la criptografía? La criptografía se basa en una ciencia exacta, como son las matemáticas, y en algoritmos muy estudiados por la comunidad científica. Varios de estos algoritmos de la criptografía son usados en la tecnología blockchain para aportar seguridad. Son esenciales para su correcto funcionamiento.

#### Funciones hash

La traducción al castellano de blockchain es cadena de bloques. En este apartado se explica la metodología que se sigue para que los bloques de información queden encadenados y cuál es el objetivo de esto.

Una función hash es una función unidireccional. Las funciones unidireccionales se definen como:

La principal característica de estas funciones es que es fácil de calcular, pero calcular es computacionalmente irrealizable. Apoyadas en esta característica, las funciones hash se aplican sobre mensajes M para proporcionar un resumen del mismo denominado m. El resumen m tendrá una longitud fija independiente de la longitud del mensaje M.

Existen numerosas funciones hash. Sin embargo, para que una función hash se considere segura y pueda ser utilizada en criptografía debe cumplir una serie de requisitos:

1. Dependencia de bits: se corresponde con la propiedad de dispersión de las funciones hash. El resumen debe depender de todos los bits del mensaje. Esto significa que, si se cambia un bit del mensaje, cambian de media la mitad de los bits del resumen.
2. Resistencia a la preimagen: dado un resumen m, debe ser computacionalmente difícil obtener M de modo que H(M) = m.
3. Resistencia a la segunda preimagen: dado un mensaje M, debe ser computacionalmente difícil encontrar otro mensaje N cuyos resúmenes coincidan, es decir H(M) = H(N).
4. Resistencia a colisiones: debe ser computacionalmente difícil encontrar una colisión. Una colisión consiste en dos mensajes M y N cuyos resúmenes coincidan.

Recordar diferencia 3 y 4, posible pregunta. Resistencia a colisiones es más débil, ya que en la 4 son 2 mensajes cualesquiera y en la 3 se trata de fijado un mensaje M encontrar otro que colisione.

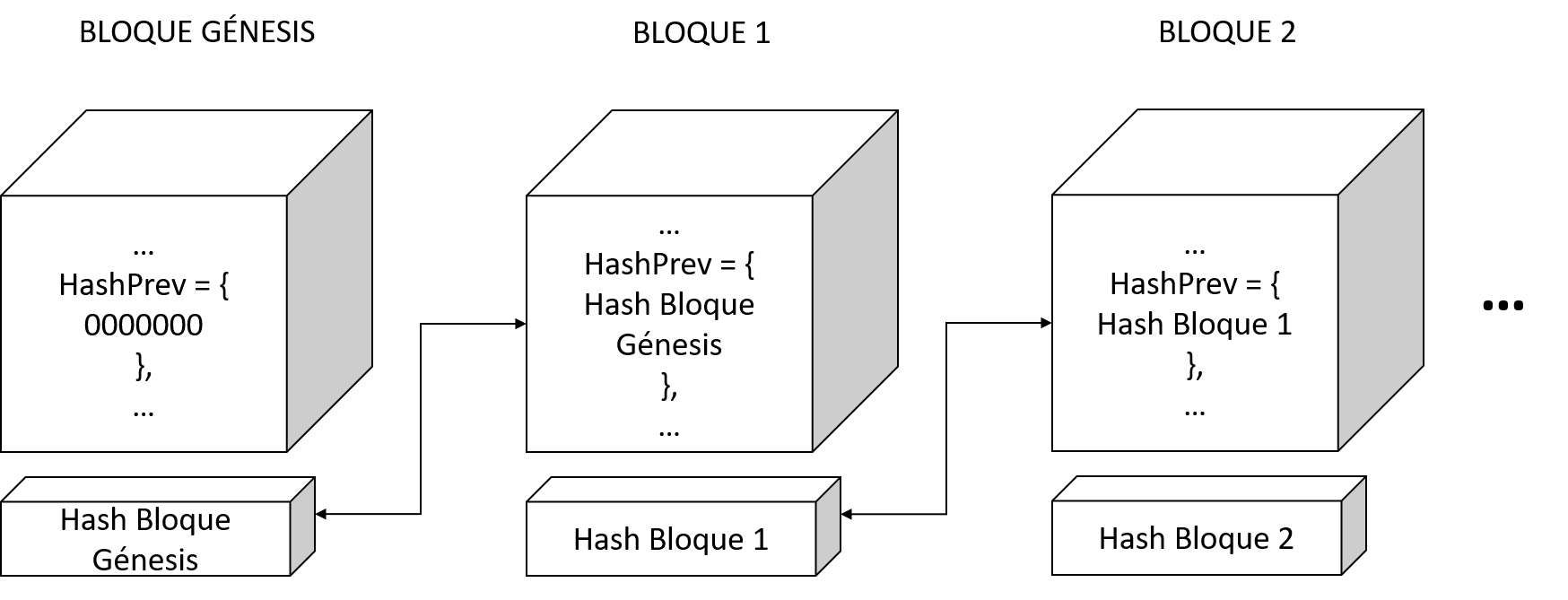
En definitiva, las funciones hash permiten obtener un identificador único de un mensaje. Identificador a partir del cual no se podrá obtener el mensaje original y que garantiza la integridad del mismo. Este aspecto es lo que hace a las funciones hash indispensables para blockchain.

##### Aplicación de las funciones hash a blockchain

Una cadena de bloques se origina a partir de un primer bloque, el bloque génesis. Se pretende que todos los bloques que se vayan añadiendo a la cadena estén enlazados de alguna manera inequívoca con todos los bloques previos hasta llegar al génesis. Esto se consigue con las funciones hash siguiendo la siguiente metodología desde el bloque génesis:

1. Haciendo uso de una función hash, se obtiene el resumen o hash del bloque génesis. El hash será un código de longitud fija que identifica inequívocamente al bloque génesis.
2. Para crear el siguiente bloque de la cadena, se incluye en este un campo que contendrá el hash del bloque anterior.
3. Una vez finalizada la creación del nuevo bloque, se le calcula el hash al nuevo bloque y se vuelve al paso 2.

Con este procedimiento se consigue que el hash de un bloque N de la cadena identifique inequívocamente a toda la cadena de bloques desde el bloque génesis hasta el bloque N. Se garantiza que toda la cadena de bloques permanece íntegra y que si alguno de los bloques sufre algún cambio se alterarán los hashes de todos los bloques posteriores. El resultado partiendo desde el bloque génesis se observa en la figura XXXXXXXXXXXXxxx.



#### Criptografía de clave asimétrica

En 1976 Diffie y Hellman proponen un nuevo método para la distribución de claves. El propósito de este método era permitir a dos extremos de una comunicación establecer una clave simétrica sin que estos hayan tenido un contacto previo o usen un canal seguro. Esta propuesta daba solución al intercambio de claves simétricas, pero no permitía el cifrado. Sin embargo, este método dio origen un año después al primer algoritmo de cifrado de clave asimétrica. En 1977 nace el algoritmo RSA de la mano de Rivest, Shamir y Adleman. Este es uno de los algoritmos más utilizados incluso a día de hoy. RSA permite no sólo el cifrado sino también la firma digital.

La principal innovación que introduce este tipo de criptografía es el uso de un par de claves. Se tendrá una clave pública y una clave privada. Como su propio nombre indica, la clave pública será conocida por todos, en cambio la clave privada sólo la debe conocer su propietario. De esta manera deja de ser necesario el intercambio de una clave simétrica a través de un canal seguro.

La criptografía asimétrica se apoya en tres tipos de problemas matemáticos:

1. Problema de la factorización de enteros
2. Logaritmo discreto
3. Curvas elípticas

Al igual que ocurría con las funciones hash, las funciones matemáticas escogidas para estos problemas tienen como principal característica el fácil cálculo en un sentido, pero muy difícil computacionalmente en el sentido inverso. De nuevo se trata de funciones unidireccionales.

El cifrado de un mensaje mediante criptografía de clave simétrica sigue el siguiente esquema:

1. El emisor obtiene la clave pública del destinatario por cualquier canal (puede ser inseguro).
2. El emisor cifra el mensaje con la clave pública del destinatario.
3. El emisor envía el mensaje cifrado a través de cualquier canal ya que solamente el poseedor de la clave privada asociada a la clave pública con la que se cifró el mensaje podrá descifrarlo. En este caso el destinatario.
4. El destinatario recibe el mensaje cifrado y haciendo uso de su clave privada obtiene el mensaje en texto plano.

Este esquema explica un simple intercambio de un mensaje cifrado. Sin embargo, la criptografía de clave asimétrica abre un abanico de posibilidades a protocolos más complicados que ofrezcan distintas cosas. Un claro ejemplo es la firma digital. La tecnología blockchain también hace uso de este tipo de cifrado.

Los principales aportes que hacen al cifrado asimétrico tan interesante para blockchain son:

1. No repudio. Si un usuario firma un mensaje con su clave privada, no podrá negar haberlo hecho.
2. Identificación. Ambos extremos de una comunicación quedan identificados.

Se podría incluir aquí la firma digital

##### Aplicación de la criptografía a Blockchain

Este apartado describe el uso que la tecnología blockchain hace de la criptografía de clave asimétrica. Una red blockchain es una red P2P distribuida, por lo tanto, ninguno de los usuarios es a priori conocido o fiable. Dentro de esta red la identidad de los usuarios es pseudoanónima. No se conoce la identidad real de los usuarios, pero tampoco es necesario. Solamente es necesario un identificador único que los identifique dentro de la red. Cada usuario tiene un par de claves asimétricas (pública y privada). Este identificador único se corresponde con la clave pública del usuario (existe un proceso que transforma la clave pública en una dirección, pero no es relevante).

La mejor forma de observar el uso que se hace de este par de claves es describir los pasos que se siguen para realizar una transacción en la blockchain de Bitcoin.

1. El receptor envía su clave pública al emisor de la transacción.
2. El emisor incluye en el campo destinatario de la transacción la clave pública del destinatario.
3. La transacción, entre otros datos, incluye la cantidad de bitcoins a transferir.
4. El emisor cifra la transacción con su clave privada. En este paso el emisor está demostrando que posee una cierta cantidad de bitcoins y acepta que ahora pasan a ser propiedad del destinatario.
5. La transacción se transmitirá a todos los usuarios de la red que la validarán e incluirán en la blockchain.

El paso 4 resulta crucial ya que de él se obtiene la identificación y el no repudio de la transacción. Resulta evidente que la criptografía de clave asimétrica es idónea y totalmente necesaria para el correcto funcionamiento de cualquier red blockchain.

### Teoría de juegos

La teoría de juegos es una rama de las matemáticas aplicada que analiza la toma de decisiones en situaciones en las que la decisión no sólo se basa en el punto de vista de un jugador, sino teniendo en cuenta las decisiones tomadas por el resto de jugadores. Se entiende por juego una situación en la que un jugador podrá obtener recompensas o perjuicios según la decisión que hayan tomado él mismo y el resto de jugadores.

El concepto relacionado con la teoría de juegos más importante para blockchain es el equilibrio de Nash. Este concepto, creado por John Nash, afirma que, si todos los jugadores siguen una estrategia óptima, ningún jugador saldrá beneficiado si cambia individualmente su estrategia. El equilibrio de Nash está directamente relacionado con la expresión “Si la mayoría de los usuarios de la red actúa correctamente la blockchain funcionará correctamente”. Ciertos usuarios de la red podrían intentar hacer trampa incluyendo bloques a la cadena sin resolver la prueba de trabajo, incluir transacciones inválidas, etc. Sin embargo, blockchain está diseñada para que se mantenga el equilibrio de Nash. Si se incluye un bloque válido encima de uno inválido, este pasa automáticamente a ser inválido también. Por lo tanto, la estrategia que les interesa a los usuarios es actuar de manera correcta y elegir la situación más estable. Se mantendrá el equilibrio de Nash mientras la mayoría de los usuarios actúen de manera honesta. Si usuarios con más de la mitad del poder computacional de la red deciden actuar de manera deshonesta, el equilibrio de Nash pasará a localizarse del lado de los usuarios deshonestos y la blockchain pasará a estar corrompida. Esta es la explicación del famoso ataque del 51%.

### Aspectos clave del protocolo blockchain

#### Concepto de minado

Hasta este apartado se había descrito la red blockchain como una red P2P formada por usuarios. Se utiliza el termino usuario por simplicidad. En este apartado se explica en qué consiste la minería de bloques en blockchain y quienes son los que la realizan.

En realidad, la red blockchain la componen una serie de nodos denominados mineros. Los usuarios simplemente son los encargados de enviar sus propias transacciones a la red cuando lo deseen. La tarea de los mineros consiste en minar bloques que contengan transacciones con el objetivo de obtener una recompensa. Minar un bloque es como se denomina al acto de resolver la prueba de trabajo descrita de manera simplificada en el APARTADO XXXXXXXXXXXXXxxX.

##### Prueba de trabajo

En el apartado XXXXXXXXxx se describe la prueba de trabajo como un problema de solución muy compleja, pero de verificación muy sencilla. Existen multitud de problemas matemáticos que se podrían utilizar para la prueba de trabajo de blockchain. El problema elegido para blockchain es el cálculo de un resumen hash con una característica determinada. El hash que sirva de solución a la prueba de trabajo de un bloque debe tener una determinada cantidad de ceros (‘000…’) al principio. La cantidad de ceros estará determinada por la dificultad, que a su vez está marcada por la cantidad de poder computacional total de la red. El resumen hash se calcula al bloque que se pretende incluir en cadena de bloques.

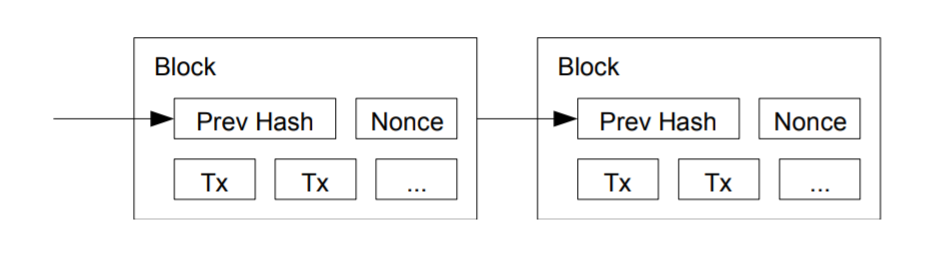
Por lo tanto, los pasos que deberá seguir un minero que pretende resolver la prueba de trabajo y minar un nuevo bloque son los siguientes:

1. Calcular la dificultad del siguiente bloque de la cadena. Esta dificultad se calcula en base a una expresión que depende del tiempo que se ha tardado en minar los últimos bloques de la cadena. La dificultad determina el número de ceros que debe tener el hash del siguiente bloque a incluir en la cadena.
2. Construir un bloque válido que pretenda incluir en la cadena.
3. Dentro del bloque existe un campo denominado *nonce* que será variable y que no aporta ninguna información. El minero deberá ir cambiando el campo *nonce* hasta que obtenga un hash del bloque que tenga el número de ceros que satisfaga la prueba de trabajo.
4. Dar un valor al campo *nonce*.
5. Calcular el hash del bloque con el *nonce* incluido en el punto 4.
6. Si el hash obtenido no satisface la prueba de trabajo, volver al punto 4. En caso de que el hash satisfaga la prueba de trabajo, se dice que se ha minado el bloque. El minero puede proceder a difundir este bloque minado para que los demás lo validen e incluyan a la cadena de bloques. El hecho de incluir el bloque en la cadena significa que cuando el resto de mineros vuelvan a realizar este algoritmo, en el paso 2 incluyan el hash del bloque recién minado en el campo hash previo. Así este permanecerá en la cadena inalterable para siempre.

Este es el algoritmo que deberá seguir todo minero para minar un nuevo bloque. Notar que es en los puntos 4, 5 y 6 donde se emplea la gran parte del poder de cómputo para el minado.

##### Creación de un bloque válido

En el algoritmo que debe seguir un minero para minar un nuevo bloque se observa que el segundo paso es crear un nuevo bloque válido a incluir en la cadena. Para entender en qué consiste este paso en detalle es necesario saber de qué está compuesto un bloque.



Un bloque está compuesto por un campo que contiene las últimas transacciones realizadas, otro campo que contendrá el hash del bloque anterior y el campo nonce descrito en el apartado anteriorXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX y observado en la figura XXXXXXXXXx. Para que un bloque sea válido, todos los datos que este contenga deben ser válidos. En especial es necesario validar las transacciones que se incluyan, ya que si nuestro bloque es inválido el resto de la cadena lo rechazará para mantener el equilibrio de Nash.

La validación de las transacciones consiste básicamente en dos pasos:

1. Validar la clave con la que se ha cifrado la transacción.
2. Comprobar que esa clave privada realmente posee la cantidad de moneda digital que pretende transferir.

#### Validez de la cadena de bloques

En ninguno de los procesos seguidos en las redes blockchain se puede olvidar que se trata de una red distribuida P2P compuesta por nodos desconocidos. No se tiene la certeza de que los nodos con los que se interactúe estén actuando de manera honesta. Puede ocurrir que un nuevo nodo quiera entrar a formar parte de la red blockchain. Este nuevo nodo desconoce totalmente lo sucedido en la cadena de bloques anteriormente así que debe pedirla a varios de los nodos que ya forman parte de la red. Si cada uno de los usuarios a los que solicita la cadena de bloques le proporciona una cadena de bloques distinta, este nuevo nodo deberá saber cuál elegir por sí mismo.

De entre todas las posibles cadenas, la cadena válida (y en la que se encuentra el equilibrio de Nash) se determinará llevando a cabo el siguiente procedimiento:

1. De entre todas las cadenas de bloques, se debe quedar sólo con las cadenas bien formadas. Una cadena está bien formada si todos los bloques que esta contiene son válidos (incluyendo sus transacciones) y todos los bloques están enlazados correctamente mediante hashes.
2. De entre todas las cadenas bien formadas, la cadena válida será la que más carga computacional contenga. Cada bloque añade carga computacional a una cadena de bloques, por lo tanto, la cadena válida será la más larga (en número de bloques).
3. Se puede dar el caso de que el paso 2 nos de como resultado varias cadenas posibles. En este caso el nuevo nodo deberá elegir al azar entre todas las posibilidades y esperar a que en el futuro se llegue al consenso con los dos primeros pasos del procedimiento.

La situación planteada no solamente se puede dar cuando un nuevo nodo quiere entrar a formar parte de la red. Otro caso en el que se puede dar es cuando varios mineros minan un bloque en un tiempo similar y cada uno transmite su bloque minado desde un punto distinto de la red. Un nodo intermedio puede recibir varias cadenas de bloques distintas y deberá elegir la cadena válida en base al procedimiento planteado. Cuando se mina un bloque simultáneamente en dos puntos de la red y ambas cadenas llegan a un nodo intermedio se dice que se ha producido un *fork.* Un *fork* no es más que una cadena de bloques cuyo bloque sucesor pueden ser varios bloques durante un pequeño espacio de tiempo hasta que se consigue el consenso.

#### Incentivo

En el algoritmo descrito en la sección XXXXXXXXXXXXXXXx se menciona que los últimos 3 pasos son los que consumen gran cantidad de poder computacional y por ende de energía eléctrica. Estos mineros están trabajando para el correcto funcionamiento de la red, y por supuesto no lo hacen de manera altruista. Invierten dinero en hardware específico para minado y en energía eléctrica a cambio de una recompensa.

En el apartado XXXXXXXXXxx se describe la estructura de un bloque. Uno de los campos es el de transacciones. En este campo aparecen todas las transacciones que se han realizado recientemente y que el minero ha validado. Sin embargo, el protocolo permite al minero que consigue minar un bloque incluir una transacción especial en ese campo de transacciones. Esta transacción genera una cantidad de moneda digital (determinada por el protocolo) que se autoasigna el minero. Esta es la recompensa que obtiene el minero y que sirve de incentivo a todos los mineros de la red para intentar minar el siguiente bloque.

Además de esta recompensa, es posible que las transacciones añadan un campo con una pequeña comisión que también se lleva el minero. Se hace uso de esta comisión en las ocasiones en las que la red está colapsada, haciendo que los mineros elijan estas transacciones antes que otras sin comisión. Notar que el bloque tiene un tamaño máximo y no se pueden incluir todas las transacciones que se deseen.

#### Otros algoritmos de consenso

Uno de los factores más importantes y que no se puede descuidar de la blockchain es el consenso. La historia que se escribe en la cadena de bloques debe ser común para todos los nodos. La prueba de trabajo es un algoritmo de consenso que consigue que en la cadena de bloques se vayan incluyendo transacciones en un orden lógico y sin que se produzca doble gasto con ninguna de ellas. Puede ocurrir que las transacciones se inserten en la cadena de bloques en un orden temporal distinto al orden en el que se realizaron, pero esto no importa. Lo único que importa para los mineros es que sean transacciones válidas en relación a los bloques anteriores, y todo lo que ocurra que no quede registrado en la cadena carecerá de validez para ellos.

La mayoría de redes blockchain utilizan como algoritmo de consenso la prueba de trabajo. Sin embargo, este algoritmo de consenso no es el único que existe. En la sección XXXXXXXXXXXXXXXXXXx se explica por qué la prueba de trabajo se ha convertido en un impedimento para la escalabilidad. La comunidad blockchain se ha dado cuenta de esto y se han desarrollado otra serie de algoritmos de consenso, algunos de los cuales se encuentran en producción, y la mayoría en desarrollo.

##### Prueba de participación

Existe un enfoque que no se ha visto sobre la prueba de trabajo y por qué la red de Bitcoin no ha sido aún corrompida. Si un minero decide realizar un ataque de más del 51% de poder de cómputo a la red, estaría consiguiendo minar todos los bloques (llevándose todas las recompensas) e insertando todas las transacciones (válidas o inválidas) que desee. Sin embargo, si esto ocurre estaría consiguiendo apropiarse de una cantidad de moneda digital que carecerá de valor, ya que toda la red puede observar este ataque y ver que la cadena de bloques ha sido corrompida. Los mineros que se llevan recompensas son los primeros interesados en que la red funcione honestamente y que se siga manteniendo el equilibrio de Nash para que la moneda digital siga teniendo valor.

La idea de la prueba de participación es en el fondo similar. Los nodos que más cantidad de moneda digital poseen serán los más interesados en que la red siga funcionando de manera honesta y la moneda digital asociada a esta mantenga su valor. Por esto, estos nodos serán los encargados de hacer que en la cadena de bloques se inserten solamente transacciones válidas.

El protocolo se basa en la cantidad de monedas que tenga cada participante que quiera validar nuevos bloques. En lugar de minar un bloque se utiliza validar un bloque para referirse al acto de crear un nuevo bloque aceptado por el resto de la red. Cada nodo que quiera entrar a formar parte del grupo de nodos validadores debe demostrar la cantidad de monedas que posee. Para ello, sus fondos quedarán “bloqueados” tanto tiempo como permanezcan al grupo de validadores. De entre todos los participantes que pertenezcan al grupo de validadores, un participante tendrá una probabilidad de ser el validador del siguiente bloque proporcional a los fondos que ha dejado “bloqueados”. Es decir, se elegirá al validador del siguiente bloque aleatoriamente con una probabilidad igual a la prueba de participación que ese participante haya demostrado tener. Es por esto por lo que se dice que los que más cantidad de monedas tengan serán los encargados de velar por el correcto funcionamiento de la cadena de bloques.

Este algoritmo está aún en fase de desarrollo, principalmente por una red blockchain llamada Ethereum. Esta red blockchain se explica en el apartado XXXXXXXXXXXXXXXXXxxx.

##### Prueba de tiempo expirado

El objetivo final de los algoritmos de consenso es elegir de manera distribuida a uno de entre todos los nodos para que se encargue de crear el siguiente bloque de la cadena. En la prueba de trabajo se hace demostrando que se ha empleado cierto poder de cómputo y en la prueba de participación demostrando que se posee cierta cantidad de moneda. En este algoritmo se hace demostrando que tu procesador ha estado cierto tiempo aleatorio (sobre el que el usuario no tiene el control) durmiendo. Este algoritmo está aún en fase de desarrollo. Fue ideado por Intel aprovechando una de las características de algunos de sus procesadores llamada *Trusted Execution Enviroment*. El usuario no podrá interactuar con el software que se ejecute en ese ambiente de ejecución.

Estos son solo algunos de los algoritmos de consenso más llamativos del panorama actual. Existen otros muchos también en fase de desarrollo. El único que está demostrando conseguir el consenso en una red blockchain pública (DIFERENCIA ENTRE PUBLICAS Y PRIVADAS VER APTDO XXXXXXXXXX) de manera segura es la prueba de trabajo, pese a los inconvenientes que suscita.

#### Redes blockchain públicas y permisionadas.

Hasta el momento no se ha hecho mención a la diferencia entre las redes blockchain públicas y las permisionadas. Las redes objetivo del presente trabajo son las redes públicas como Bitcoin o Ethereum, pero conviene conocer en qué consisten las permisionadas ya que el trabajo puede tener aplicación también en estas. En una red blockchain pública, cualquiera puede empezar a formar parte de la red sin más. No será tan sencillo en las permisionadas.

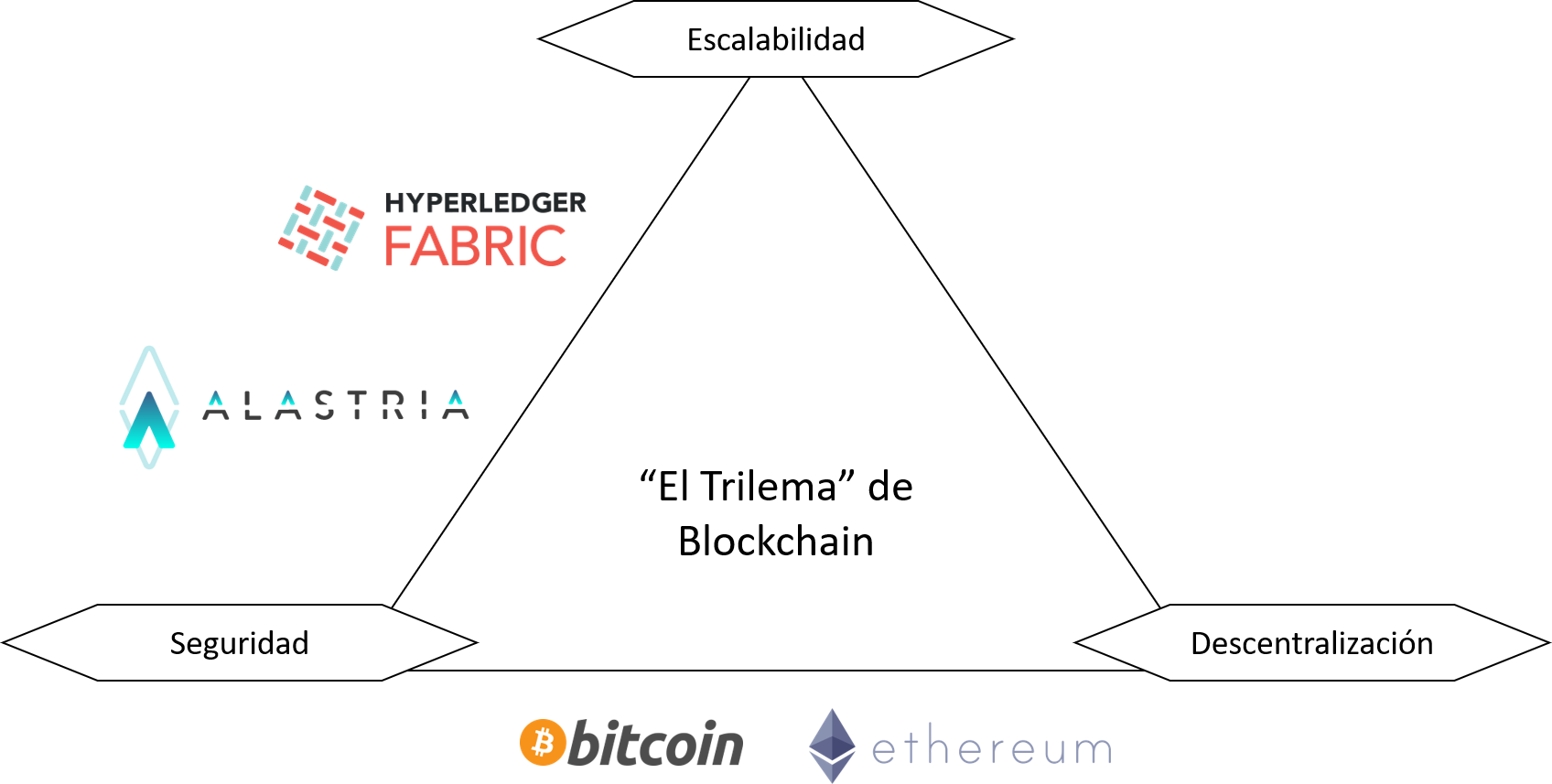
Tras la aparición en 2014 de Ethereum y sus Smart Contracts, varias empresas ven cómo blockchain podría aportar valor a sus empresas facilitando el manejo de información. Hasta ese momento cuando varias empresas colaboraban entre sí en algún proceso, cada una gestionaba por separado la información relacionada con el mismo. Procesos de conciliación eran necesarios para cerciorarse de que la información que cada empresa tenía estaba en sintonía. Ciertas empresas consideran que esto puede cambiar con blockchain. Deciden crear consorcios con el objetivo de gestionar una red blockchain propia en la que almacenar de forma compartida esa información común y así agilizar muchos procesos.

Estas nuevas redes blockchain se denominan permisionadas (o privadas en algunos casos). El término permisionada hace referencia a que, a diferencia de las redes públicas, es necesario que el resto de la red identifique a un nodo y lo autorice a participar antes de que este forme parte de la red. Esto se debe a que la información que se maneja en esta red puede ser sensible o confidencial para unas cuantas empresas. En estas redes blockchain se abre la posibilidad de que ciertas transacciones de información sean privadas y sólo unos cuantos puedan verlas. Otro de los aspectos claves de este tipo de redes blockchain es el rendimiento. Se pueden conseguir tasas de transacciones por segundo mucho mayores que las que se consiguen en las públicas. Esto se consigue a costa de cambios en el protocolo que hacen a esta red menos segura, ya que sólo ciertos nodos serán los encargados de incluir bloques a la cadena. Al tratarse de nodos identificados y autorizados esta disminución en la seguridad es tolerable. La elección entre pública o permisionada dependerá de la aplicación que se le quiera dar, las prestaciones que se necesiten y del ambiente en el que se ejecute (público o privado).

Dos claros ejemplos de redes blockchain permisionadas son Hyperledger Fabric de IBM y un consorcio de empresas españolas llamado Alastsria.

#### Trilema

En el apartado XXXXXXX sobre redes blockchain permisionadas se ha visto como estas consiguen más rendimiento (o escalabilidad) a costa de reducir la seguridad o la descentralización. Esto da paso a lo que en la comunidad blockchain se conoce como El Trilema.



Las redes blockchain tienes 3 aspectos fundamentales a tener en cuenta: seguridad, descentralización y escalabilidad. El problema se denomina trilema porque los protocolos blockchain desarrollados hasta el momento sólo son capaces de ofrecer 2 de estos aspectos poniendo en compromiso al restante. Redes blockchain públicas como la de Bitcoin o Ethereum ofrecen seguridad y descentralización a costa de no ser sistemas escalables. Redes blockchain permisionadas como las de IBM o Alastria ofrecen escalabilidad y seguridad a costa de la descentralización (ya que sólo ciertos nodos elegidos incluyen bloques a la cadena).

Actualmente no existe ningún protocolo blockchain que no comprometa alguno de estos aspectos clave. Conseguir solucionar el problema de la descentralización en las redes permisionadas es imposible por definición. Así que los mayores esfuerzos se centran en atajar el problema de la escalabilidad en redes públicas para intentar solucionarlo o al menos mejorar el rendimiento lo máximo posible.

# Propuesta blockchain basada en tiempo confiable

En el apartado de ObjetivosXXXXXXXXXXXXXXX se describen los principales problemas que tienen las redes blockchain públicas basadas en prueba de trabajo. El presente trabajo tiene como objetivo atajar el problema de la escalabilidad, no para hacer de estas redes blockchain un sistema escalable como tal, sino para intentar sacar el mayor rendimiento posible. El principal factor limitante para la escalabilidad nace de la prueba de trabajo. Sin embargo, ya se ha visto por qué la prueba de trabajo no se puede facilitar si se quiere que la red mantenga el consenso. La propuesta de este trabajo consiste en un sistema que permita hacer la prueba de trabajo más fácil manteniendo el consenso de la red. Para esto es necesario ahondar más en las consecuencias para comprender la propuesta.

## Forks en la blockchain

Para entender completamente en qué consiste un fork y las consecuencias que estos pueden acarrear en las cadenas de bloques se hace uso de un estudio XXXXXXXXXXXXXXX.

En el estudio se analiza en un primer momento el retardo de la red blockchain de Bitcoin. Se denomina retardo D al tiempo que tarda un bloque emitido por un minero en llegar al resto de la red. En la figura XXXXXXXXXXX se observa el resultado obtenido tras analizar 10000 bloques de la cadena. El retardo medio es de 12.6 segundos. Pasados 40 segundos aún hay un 5% de los nodos que no han recibido el bloque. El objetivo de medir este retardo es ver su interacción real con el número de forks que se suceden en la red. Cuando el primer minero de la red consigue minar el bloque de altura (o longitud) N+1, inmediatamente lo emite a la red. Desde esta emisión transcurre un tiempo hasta que el resto de mineros de la red recibe este bloque. Durante este tiempo denominado D, el resto de los nodos de la red siguen intentando minar el bloque N+1 ya que aún no se han enterado de que otro minero ya ha conseguido minarlo. Si dentro de este tiempo D algún otro minero consigue minar otro bloque N+1, se tendrán 2 bloques N+1 emitidos a la red. Estos dos bloques se denominan (N+1) y (N+1)’. En este momento se podría dar el caso de que una parte de la red tome como válida la cadena que acaba con el bloque (N+1) y otra parte tome la cadena que acaba con el bloque (N+1)’. Habría que esperar al minado de varios bloques más para que la red se ponga de acuerdo en una única cadena, suponiendo esto un desperdicio de poder computacional y tener que revertir una cadena de longitud considerable (PUEDE QUE NO SE ENTIENDA LO DE REVERTIR CADENA QUITARLO???XXXXXXXXXXXXX). Cuanto mayor sea el tiempo D mayor es la probabilidad de que se produzcan forks en la red.

El estudio pasa a medir el número de forks que se observan en un intervalo de 10000 bloques. Para ello monta un nodo “pasivo” que está conectado a una gran cantidad de nodos (bastante más grande de lo normal) con el objetivo de observar la mayor parte de la red posible. En la figura XXXXXXXXXX se observa que se producen un total de 169 forks en los 10000 bloques (r=1.69%). En un intento por demostrar la repercusión del tiempo D en los forks producidos en la red, realizan un experimento en el que aumentan la conectividad de la red. Para ello hacen uso del anterior nodo con gran cantidad de nodos conectados, pero en modo “activo” (en este caso actuará en base al protocolo haciendo broadcast de la cadena más larga que conozca en cada momento). De nuevo miden durante 10000 bloques el número de forks, los resultados se observan en la figura XXXXXXXXXXXXXx. La tasa de forks pasa de un 1.69% a un 0.78%, esto supone una mejora de un 53.41% en el número de forks. La conclusión que se obtiene de este estudio es que aumentar la conectividad de un nodo (400 conexiones frente a las 8 que suele tener un nodo) ha provocado un descenso considerable en la tasa de forks. Esto se ha producido por el simple hecho de que se ha conseguido alcanzar el consenso en una misma cadena más rápido que si se tuviese que esperar a que alguna cadena adelante a otra (en número de bloques). Si un nodo ha recibido 2 cadenas bien formadas distintas de la misma longitud, tendrá que elegir una al azar. Si muchos nodos eligen con qué cadena quedarse al azar el resultado será que no haya consenso hasta más adelante. Este es el principal foco de atención de este trabajo, conseguir que ningún nodo tenga que elegir al azar con qué cadena quedarse en ningún momento.

El número de forks no solamente es un problema para el consenso, sino también para la seguridad. Para ver por qué se hace uso de un artículo hecho para la red Ethereum [ARTICULO GHOST XXXXXXXXXXX]. Este estudio explica por qué una disminución del tiempo de la prueba de trabajo (que aumente la tasa de transacciones por segundo), que se traduciría en un incremento de los forks, haría la blockchain más vulnerable.

La figura XXXXXXXXXXx muestra una situación en la que un atacante intenta realizar un ataque del 51%. Se supone que el atacante tiene un poder computacional del 30% y el resto de la red honesta dispone del 70% restante. Disminuir el tiempo de la prueba de trabajo conlleva un mayor número de forks. Cuando se producen varios forks, la parte honesta de la red está divida en tantas partes como forks haya. A la altura del bloque número 2 de la figura XXXXXXXxxxx se tienen 3 forks, por tanto, el 70% del poder computacional de la red honesta estará dividido en estos 3 forks. Cada parte de la red estará intentando minar el siguiente bloque de la cadena sobre una de las 3 cadenas distintas que se tiene. El atacante está actuando por su cuenta, así que emplea el 30% de su poder computacional íntegramente en minar sobre su única cadena. A esta técnica de minado del atacante se la denomina “Self-Mine-Strategy”. Es evidente que el atacante con sólo el 30% del poder computacional de la red será capaz de crear una cadena más larga que el resto de la red honesta y llevará su ataque con éxito.

Esta situación se podría haber evitado con la propuesta que presenta este trabajo. Si se observa con detenimiento la figura XXXXXXXXXXXXX, se ve que los forks que se han producido a la altura de los bloques 2 y 3 se debe a que los nodos han recibido varias cadenas de igual longitud y han tenido que elegir una de ellas al azar. Si se consigue evitar esta situación en la que los nodos no sepan qué cadena de igual longitud (en número de bloques) elegir, se mantendría el consenso en una misma cadena. Manteniendo el consenso en una sola cadena haría que toda la parte honesta de la red volcase todo su poder computacional (70%) en la misma cadena y el atacante con su 30% no pueda llevar a cabo el ataque.

La situación idílica en el caso de que se produzca un fork sería no sólo que todos los nodos que están en esta situación elijan la misma cadena, sino que todos elijan la primera que realmente se minó. A priori se podría pensar que, si el minero añadiese un timestamp al bloque al minarlo, el resto podría saber fácilmente qué cadena se minó la primera. El timestamp en blockchain es un tema algo controvertido que merece la pena tratar, sobre todo para la propuesta del trabajo.

## El papel del timestamp en blockchain

Una situación que a menudo es confusa de blockchain es la puntual falta de orden temporal del timestamp de los bloques. En repetidas ocasiones un bloque posee un timestamp menor al timestamp de un bloque previo. En base a la mayoría de los protocolos blockchain actuales, esta situación es totalmente válida.

Una red blockchain no posee una autoridad central que informe del tiempo UTC (Universal Time Coordinated). Asumir que el tiempo local de cada nodo es preciso o está sincronizado con los relojes del resto es un error. Cada nodo está conectado a la red a través de una serie de pares. Cada nodo posee un tiempo UTC local con un offset marcado por la media del tiempo UTC local de cada par (peer?????XXXX) a los que está conectado. El tiempo global de la red blockchain está marcado por la media de los timestamps emitidos por todos y cada uno de los nodos de la red. Esto provoca que la sincronización en estas redes no sea nada óptima, provocando situaciones en las que el orden de los timestamps no sea correcto.

El protocolo de Bitcoin únicamente rechaza un timestamp si es menor a la media de los timestamps de los 11 bloques anteriores o 2 horas superior al tiempo global de la red. De manera parecida se realiza en Ethereum, provocando que un nodo pueda falsear su timestamp en unos 900 segundos sin repercusión alguna.

En qué consistiría el sistema de timestamp confiable distribuido (haciendo uso de las explicaciones anteriores de Trustzone autenticación y trazabilidad de tiempo)

Por lo tanto el algoritmo que un nodo debería seguir para quedarse la cadena válida quedaría: