



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
MÁSTER INGENIERÍA INDUSTRIAL

# **ESTUDIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN EN UN SISTEMA LOW VOLTAGE DISTRIBUTION LOOP**

Autor: Diego Plata Rodilla  
Directores: Miguel Martín Lopo  
Antonio Vázquez Blanco

Madrid  
Enero 2020



## **AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO**

### ***1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.***

El autor D. DIEGO PLATA RODILLA

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: ESTUDIO DE IMPLEMENTACIÓN DE BLOCKCHAIN EN LV DL, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

### ***2º. Objeto y fines de la cesión.***

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor CEDE a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

### ***3º. Condiciones de la cesión y acceso***

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar "marcas de agua" o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducir la en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

### ***4º. Derechos del autor.***

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

### ***5º. Deberes del autor.***

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e

intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

**6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.**

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 30 de septiembre de 2019

ACEPTA



Fdo. DIEGO PLATA RODILLA

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
..Estudio de la Implementación de la tecnología.....  
..Blockchain en un sistema de low Voltage Distribution Loop..  
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el  
curso académico 2019-20 ..... es de mi autoría, original e inédito y  
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es  
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada  
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.:



DIEGO PLATA RODILLA

Fecha: 30 / 09 / 2019

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.:

Fecha: ..... / ..... / .....





ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
MÁSTER INGENIERÍA INDUSTRIAL

# ESTUDIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN EN UN SISTEMA LOW VOLTAGE DISTRIBUTION LOOP

Autor: Diego Plata Rodilla  
Directores: Miguel Martín Lopo  
Antonio Vázquez Blanco

Madrid  
Enero 2020



# ESTUDIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN EN UN SISTEMA LOW VOLTAGE DISTRIBUTION LOOP

**Autor: Plata Rodilla, Diego**

Directores: Lopo, Miguel Martín; Vázquez Blanco, Antonio

Entidad Colaboradora: ICAI - Universidad Pontificia Comillas

## RESUMEN DEL PROYECTO

### Introducción

La tecnología blockchain ha sido foco de múltiples noticias en los últimos años, tanto en el mundo especializado como en la población en general. Por un lado, el amplio abanico de sus posibles aplicaciones ha generado interés en varios campos de la industria. Por otra parte, el elevado beneficio potencial asociado a sus aplicaciones ha fomentado mucha curiosidad por esta tecnología. A pesar de la gran expectación que ha generado, existe poca visibilidad respecto a la verdadera aplicabilidad de la tecnología. Es por ello que se desea con este trabajo tratar de plasmar con mayor claridad las aplicaciones y beneficios reales que puede aportar esta tecnología.

Uno de los campos de la industria donde mayor beneficio puede tener la tecnología blockchain es el sector eléctrico. La descentralización de la industria, permitiendo la entrada a empresas con menor tamaño al mercado, o la reducción de costes operativos del sector, al unificar los sistemas de gestión y validación de datos, son algunos de ellos. Aunque el sector eléctrico sea uno de los que más se podría beneficiar de la tecnología blockchain, por el momento no existen demasiados estudios realizados en torno a su aplicación práctica. Con este trabajo, se intentará estudiar la utilidad que podría tener la tecnología blockchain en redes eléctricas de baja tensión, también conocidas como sistemas “Low Voltage Distribution Loop”.

Para poder lograr este objetivo, se definieron tres grandes secciones del proyecto. El primer apartado del trabajo fue crear una guía resumen que permitiera la comparación de redes blockchain en el entorno de distribución eléctrica a baja tensión. Tras haber tenido una primera visión del contexto de estudio con el estado del arte, como segunda sección, se definió un sistema eléctrico de referencia a usar para realizar la comparativa tecnológica en una comunidad energética entre un sistema centralizado y uno blockchain. Una vez definida la arquitectura del sistema, se procedió a realizar un estudio económico comparando los costes

operativos de ambos sistemas.

## **Estado del Arte**

En la primera fase del trabajo, se realizó un estudio del estado actual de la tecnología blockchain. Con él, se pretendía definir las principales características que conforman una red blockchain, para así entender mejor qué configuración se podría desear tener en cada tipo de aplicación de la tecnología. Finalmente, se pudieron definir 8 principales propiedades que configuran una red blockchain: la estructura de la red, el método de consenso, tamaño de los bloques, frecuencia de actualización, comisiones, el método de creación de los tokens, y el número de nodos de la red. Seguidamente, se hizo un análisis de distintas plataformas blockchain ya existentes, y se cotejaron sus configuraciones con las características definidas anteriormente. De este análisis se escogieron 6 divisas que en su conjunto abarcaban el abanico completo de configuraciones posibles: Bitcoin, Ethereum, NEO, Ripple, SolarCoin, IOTA. Estas plataformas se analizaron más en detalle, para entender su aplicabilidad al entorno final deseado: comunidades locales de distribución energética.

## **Arquitectura del Sistema**

Tras realizar el estudio de las tecnologías blockchain, se trató de aplicar el conocimiento adquirido en a un caso de uso práctico. En primer lugar, se definió la arquitectura del sistema específico a comparar. Se definió el sistema eléctrico que se usaría en la comparativa. Para ello, se tomó como referencia el modelo utilizado mostrado en la Figura 1, que consta de una red de 3 casas unifamiliares en Valencia. El sistema incluye además un módulo fotovoltaico y una batería de almacenaje. Tiene 6 lectores inteligentes en total.

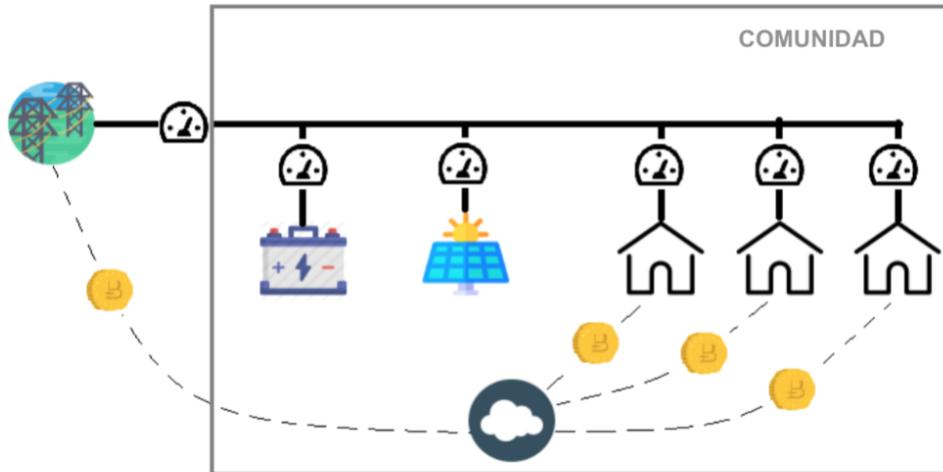


Figura 1: Esquema de Sistema Elegido [18, p. 42]

Tras definir el sistema eléctrico, se entró a detallar el sistema de gestión de las transacciones energéticas entre los usuarios de la comunidad. Se definieron los tipos de operaciones que se podrían realizar en la red. Y, posteriormente, se establecieron los componentes computacionales que se necesitarían para realizar esas operaciones. En el caso del sistema centralizado, se decidió usar una plataforma de computación en la nube. La Figura 2 muestra la estructura de este sistema.

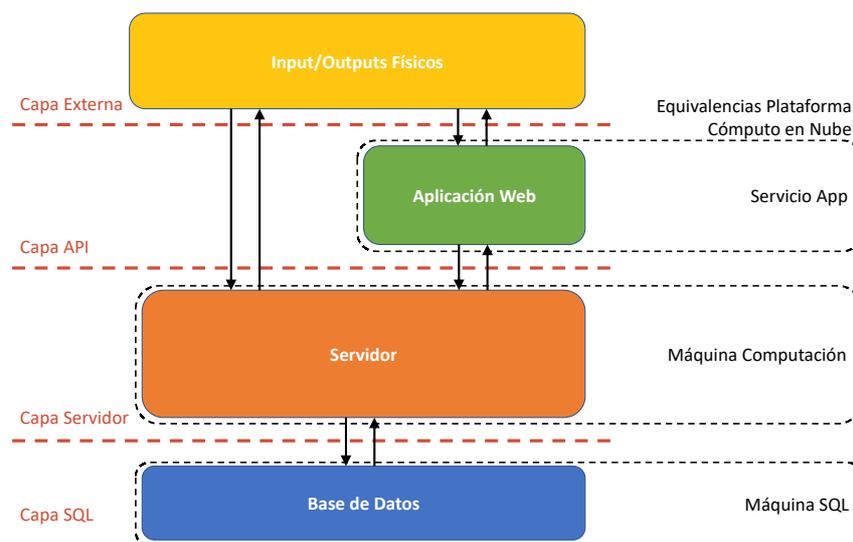


Figura 2: Esquema Estructura Sistema Centralizado

Seguidamente, se definieron los mismos criterios para el sistema blockchain. Se decidió finalmente realizar una combinación de parte centralizada y parte descentralizada. La parte descentralizada se diseñaría sobre la plataforma Ethereum. La Figura 3 muestra la estructura de este sistema.

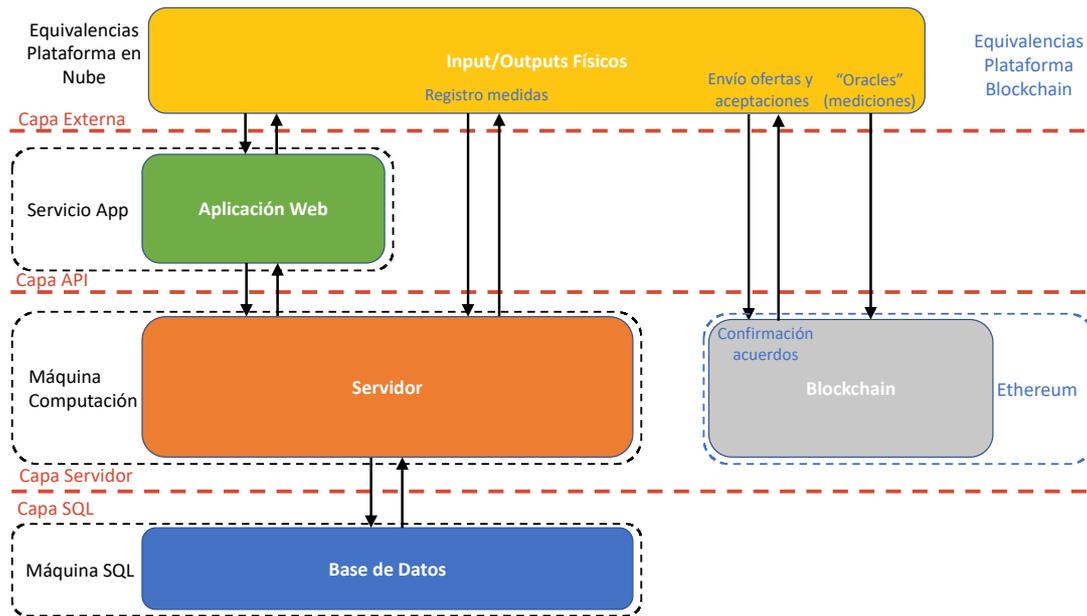


Figura 3: Esquema Estructura Sistema Blockchain

## Estudio Económico

Tras la definición de la arquitectura y de sus componentes, se procedió a estimar los costes operativos de ambos sistemas. Para el sistema centralizado, la estimación de costes operativos anuales se realizó tomando la media de valores de 3 plataformas en nube distintas, Google Cloud Platform [20], la Microsoft Azure [21] y Amazon Web Services [22]. Para la parte descentralizada, la valoración se dividió en una parte estimada sobre las mismas 3 plataformas en nube, y otra sobre Ethereum. Los resultados fueron los siguientes.

Tabla 1: Comparación Costes Anuales ambos Sistemas

Sistema Centralizado	Sistema Blockchain
543,60 €	67.829,15 €

Para la arquitectura testada, los costes operativos con Ethereum son 125 veces más elevados en comparación con la media de las 3 plataformas centralizadas analizadas. Es decir, entre 2 y 3 órdenes de magnitud más caro. Estos resultados, aunque abultados, no son sorprendentes. Se han obtenido resultados equivalentes en trabajos similares comparando costes operativos entre ambas arquitecturas. [30] La principal razón de la disparidad de costes es que el coste operativo de la red blockchain se calcula por número de acuerdos, no por el volumen y complejidad de ejecución de código, como en el modelo centralizado. Sin embargo, también existen ciertas ventajas cualitativas del sistema blockchain, tales como la inmutabilidad del contenido, o la ejecución inmediata y automática de los pagos de las transacciones, que podrían fomentar su uso a pesar de la diferencia de costes operativos.

## **Conclusiones**

La primera sección del trabajo muestra que la tecnología blockchain es una industria que está aún en fase de desarrollo. A pesar de la evolución que ha sufrido en su corta vida, aparecen continuamente plataformas nuevas que mejoran distintas características respecto a sus predecesores. Por lo tanto, su implementación a medio o largo plazo podría volverse obsoleta rápidamente. Por este motivo, de momento, parece apropiado esperar a la maduración de la industria antes de su uso práctico. La segunda sección muestra que el modelo diseñado no es implementable al 100% en una red blockchain. Parte del sistema sigue teniendo que gestionarse de manera centralizada. Esto demuestra que la tecnología blockchain no es completamente adaptable al contexto investigado. La tercera sección muestra que operar con la tecnología blockchain requiere de una inversión mucho mayor en comparación con su equivalente centralizado. El coste operativo de la red blockchain estudiada es directamente proporcional al precio medio de mercado de su divisa. Por lo tanto, su operación siempre estará vinculada a las fluctuaciones del mercado bursátil y la especulación con dicha divisa. En definitiva, con las conclusiones obtenidas, se puede deducir que, por el momento, la implementación de la tecnología blockchain a sistemas “Low Voltage Distribution Loop” no tiene la utilidad operativa necesaria para su aplicación práctica.

# STUDY OF THE IMPLEMENTATION OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY ON A LOW VOLTAGE DISTRIBUTION LOOP SYSTEM

**Author: Plata Rodilla, Diego**

Directors: Lopo, Miguel Martín; Vázquez Blanco, Antonio

Collaborating Entity: ICAI - Universidad Pontificia Comillas

## SUMMARY OF THE PROJECT

### Introduction

Blockchain technology has been on the focus of multiple news in the last years, both in specialized world and in general population. On the one hand, the several possible applications have generated interest in different fields of the industry. On the other hand, the high potential benefit associated to its applications has increased the curiosity to this technology. Despite the great interest generated, there is little visibility regarding the true application of the technology. This work attempts to capture more clearly the applications and real benefits that this technology can provide.

One field of the industry where the blockchain technology can have more benefits is the electrical sector. The decentralization of the industry, allowing entry for smaller business to the market, or the reduction of operational costs, unifying the transaction and validation systems, are some of them. Although the electrical system is one which could benefit the most from blockchain technology, currently there are not too many studies analyzing its practical application. With this work, the utility that blockchain technology could have in Low Voltage Distribution Loop systems will be studied.

In order to achieve this objective, three main sections of the project were defined. The first section was to create a summary guide that would allow the comparison of blockchain networks in the low voltage electrical distribution environment. After having had a first view of the context of study with the state of the art, on a second stage, an electrical system of reference was defined to be used in a comparison on a local energy community between a centralized system and a blockchain-based one. Once the architecture of the system was defined, an economic study was carried out comparing the operational costs of both systems.

## **State of the Art**

In the first phase of the work, a study of the current state of the blockchain technology was carried out. With it, it was intended to define the main characteristics that define a blockchain network, in order to better understand which configuration was best in each type of application of the technology. Finally, it was possible to define 8 main properties that configure a blockchain network: the network structure, the consensus method, block size, update frequency, commissions, token creation method, and number of nodes on the net. Next, an analysis of different existing blockchain platforms was made, and their configurations were compared with the previously defined characteristics. From this analysis, 6 platforms were chosen due to together covered the full range of possible configurations: Bitcoin, Ethereum, NEO, Ripple, SolarCoin, IOTA. These platforms were analyzed in detail, in order to understand their applicability to the desired final environment: local communities of energy distribution.

## **System Architecture**

After completing the study of various blockchain technologies, it was intended to apply the acquired knowledge to a practical use case. Firstly, the architecture of the system to be compared was defined. The electric system to be used in the comparison was chosen. The model shown in Figure 1 was used as reference. It consists of 3 single-family houses in Valencia, Spain. The system also includes a PV panel, and a storage battery. In total, there are 6 meters.

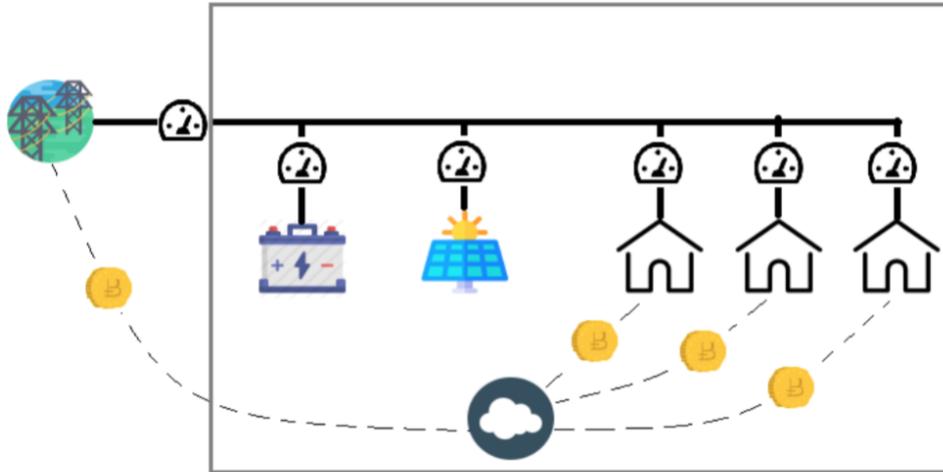


Figure 1: Diagram of chosen system [18, p. 42]

After defining the electric system, it was time to detail out the energy transaction system for the community members. The different types of operations that the system would support were established. Subsequently, the computer components needed to support these operations were defined. For the centralized system, it was decided to use cloud platform as the basis for the architecture. Figure 2 shows the components of the centralized system.

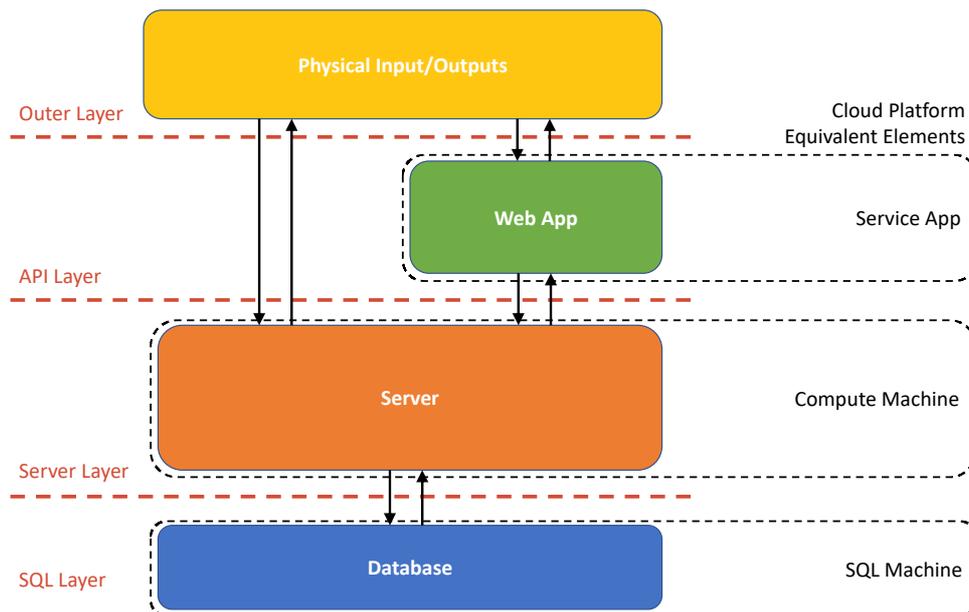


Figure 2: Centralized System Structure

After this, the same criteria were defined for the blockchain system. It was decided to use a combination of a centralized part and a blockchain part, the second one built on the Ethereum platform. Figure 3 shows the components of the blockchain system.

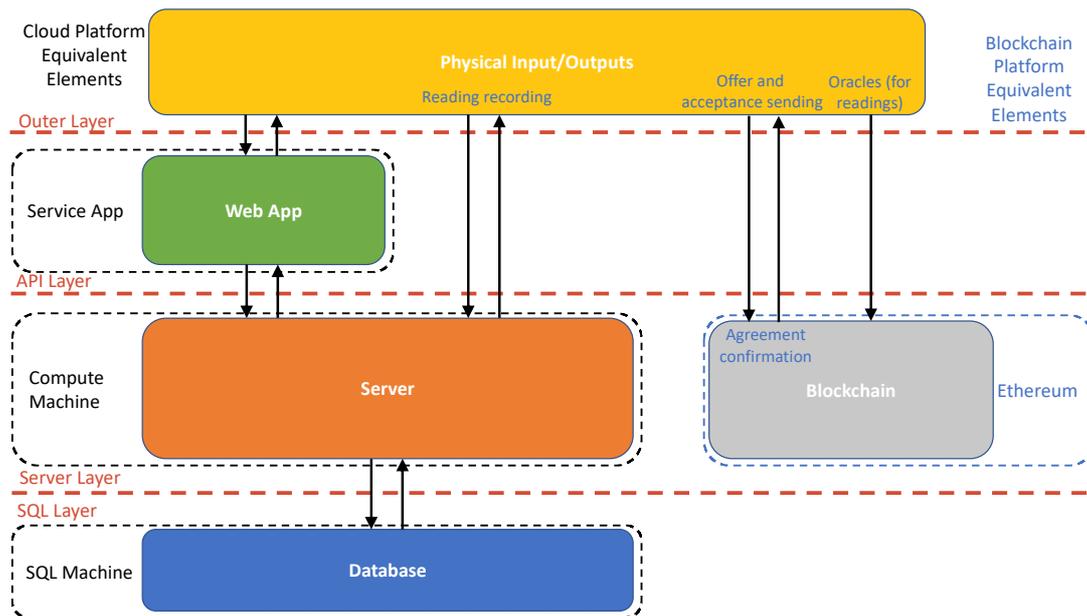


Figure 3: Blockchain System Structure

## Economic Study

After defining the architecture and components, the operational costs for both systems were estimated. For the centralized system, the annual operational cost estimation was executed taking the average of 3 separate estimations done on different cloud platforms, Google Cloud Platform [20], Microsoft Azure [21] and Amazon Web Services [22]. For the blockchain part, the estimation was split into 2 parts, one estimated using the same 3 cloud platforms, and the second one using Ethereum. The results were as follows.

Table 1: Annual cost comparison for both systems

Centralized System	Blockchain System
543.60 €	67,829.15 €

For the tested architecture, the operating costs with Ethereum are 125 times greater than the equivalent centralized system. In other words, 2 to 3 orders of magnitude more expensive. Although these results may seem excessive, they are not surprising. Similar studies have obtained comparable results when analyzing these architectures [30]. The main reason behind this disparity in costs can be linked to the fact that operating cost for blockchain networks is calculated based on number of agreements between users, instead of volume or complexity of code execution. On the other hand, blockchain technology offers some qualitative advantages over centralized systems that should not be discarded. The immutability of its content, or the instant and automatic execution of the payment of transactions could stimulate its use despite the difference in operating costs.

## **Conclusions**

The first section of the work shows that blockchain technology is an industry still at development stage. In spite of the great evolution it has encountered in its short life, new platforms appear continuously, bringing new characteristics with respect to its predecessors. Hence, its implementation on medium or long-term projects could become obsolete quite quickly. For this reason, it seems appropriate, for the moment, to wait until the industry reaches a higher level of maturity before its practical use. The second section shows that the chosen model is not fully implementable on blockchain. Part of the system still had to be managed on a centralized platform. This shows that blockchain technology is not fully adaptable to the context of this study. The third section shows that operating on a blockchain platform requires a much higher investment in comparison to its centralized equivalent. The operating cost of a blockchain is directly proportional to the average market price of the currency. Therefore, its operation will always be affected by the market fluctuations, as well as speculation with its token. In conclusion, it can be stated that, for the moment, the implementation of blockchain technology on Low Voltage Distribution Loop systems does not prove to have the necessary operational utility for its practical application.

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>2. ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>7</b>
2.1. Introducción .....	7
2.2. Tecnología blockchain .....	7
2.3. Herramientas blockchain a evaluar .....	8
2.4. Características principales de blockchain .....	10
<b>3. ARQUITECTURA DEL SISTEMA.....</b>	<b>23</b>
3.1. Introducción .....	23
3.2. Definición del sistema eléctrico .....	23
3.3. Definición del sistema de gestión de transacciones .....	24
3.4. Requerimientos del sistema centralizado .....	27
3.5. Definición de equivalencias con plataforma en nube.....	30
3.6. Requerimientos del sistema blockchain.....	33
3.7. Definición de componentes sistema blockchain .....	39
<b>4. ESTUDIO ECONÓMICO .....</b>	<b>42</b>
4.1. Introducción .....	42
4.2. Metodología estimación costes sistema centralizado.....	42
4.3. Metodología estimación costes sistema blockchain.....	50
4.4. Evaluación de resultados.....	52
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>54</b>
<b>6. FUTUROS DESARROLLOS.....</b>	<b>55</b>
<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>56</b>
7.1. Anexo 1. Tablas estimación costes calculadoras plataformas en nube .....	56
7.2. Anexo 2. Tabla costes Gas de OPCODES en Ethereum.....	63
<b>8. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>65</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de Sistema Elegido .....	24
Figura 2: Esquema Estructura Sistema Centralizado .....	28
Figura 3: Esquema Equivalencias entre Sistema y Plataforma en nube .....	31
Figura 4: Esquema Estructura Sistema Blockchain Parcial .....	34
Figura 5: Esquema Estructura Sistema Blockchain Completo .....	37
Figura 6: Flujo creación acuerdos en Blockchain .....	37

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen Configuraciones Tecnologías Blockchain 1 .....	21
Tabla 2: Resumen Configuraciones Tecnologías Blockchain 2 .....	22
Tabla 3: Estimación Peso Computacional Unitario de Operaciones .....	45
Tabla 4: Componentes y Peso Computacional de Servicios App .....	45
Tabla 5: Resumen Parámetros Servicios App .....	46
Tabla 6: Componentes y Peso Computacional de Máquinas Computación .....	46
Tabla 7: Resumen Parámetros Máquinas Computación .....	46
Tabla 8: Componentes y Peso Computacional de Máquinas SQL .....	47
Tabla 9: Resumen Parámetros Máquinas SQL .....	47
Tabla 10: Valores para Cálculo Máquinas Computación .....	48
Tabla 11: Resumen Costes Máquinas Computación .....	48
Tabla 12: Valores para Cálculo Máquinas SQL .....	49
Tabla 13: Resumen Costes Máquinas SQL .....	49
Tabla 14: Resumen Costes Totales Sistema Centralizado .....	50
Tabla 15: Valores para Cálculo Parte Centralizada en Modelo Blockchain .....	51
Tabla 16: Resumen Costes Totales Sistema Blockchain .....	52
Tabla 17: Estimación Máquinas Computación Amazon Web Services .....	56
Tabla 18: Estimación Máquinas Computación Microsoft Azure .....	57
Tabla 19: Estimación Máquinas Computación Google Cloud Platform .....	58
Tabla 20: Estimación Máquinas SQL Amazon Web Services 1 .....	59
Tabla 21: Estimación Máquinas SQL Amazon Web Services 2 .....	60
Tabla 22: Estimación Máquinas SQL Microsoft Azure .....	61
Tabla 23: Estimación Máquinas SQL Google Cloud Platform .....	62
Tabla 24: Tabla Costes Gas de OPCODES en Ethereum .....	63



# 1. INTRODUCCIÓN

La tecnología blockchain ha sido foco de múltiples noticias en los últimos años, tanto en el mundo especializado como en la población en general. Por un lado, el amplio abanico de sus posibles aplicaciones ha generado interés en múltiples campos de la industria. Por otra parte, el elevado beneficio potencial asociado a sus aplicaciones ha fomentado mucha curiosidad por esta tecnología. A pesar de la gran expectación que ha generado, existe poca transparencia respecto a la verdadera aplicabilidad de la tecnología. Los beneficios reales de su aplicación tampoco están muy claros. Es por ello que se desea con este trabajo tratar de plasmar con mayor claridad las aplicaciones y beneficios reales que puede aportar esta tecnología.

Uno de los campos de la industria donde mayor beneficio se le puede extraer a la tecnología blockchain es el sector eléctrico [1, p. 57]. Dada la alta regulación que existe actualmente, el sector cuenta con un funcionamiento muy centralizado. El uso de la tecnología blockchain plantea una amplia gama de mejoras potenciales para el sector. Desde la descentralización de la industria, permitiendo la entrada a empresas con menor tamaño al mercado, hasta la reducción de costes operativos del sector, al unificar los sistemas de gestión y validación de datos.

Aunque el sector eléctrico sea uno de los que más se podría beneficiar de la tecnología blockchain, por el momento no existen demasiados estudios realizados en torno a su aplicación práctica. Principalmente han sido otras áreas como el sector financiero las que han estado más interesadas en testar sus aplicaciones [1, p. 38]. Con este trabajo, se intentará estudiar la utilidad que podría tener para el sector energético el uso de la tecnología blockchain. En particular, la utilidad que podrían tener en redes eléctricas de baja tensión, también conocidas como sistemas “Low Voltage Distribution Loop”.

El objetivo global de este proyecto será estudiar la utilidad práctica que puede tener la tecnología blockchain en la industria energética. Más específicamente, para su aplicación como sistema de gestión de transacciones en sistemas “Low Voltage Distribution Loop”. Para poder lograr este objetivo, se han definido tres grandes secciones del proyecto, cada una con su objetivo asociado. El primer apartado del trabajo será crear una guía resumen que permita la comparación de redes blockchain en el entorno de distribución eléctrica a baja tensión. Tras haber tenido una primera visión del contexto de estudio con el estado del arte, como segundo

objetivo, se definirá un sistema eléctrico de referencia que se usará para realizar la comparativa tecnológica. Una vez definida la arquitectura del sistema que se va a evaluar, se procederá a realizar el último objetivo del trabajo. Aquí, se realizará un estudio económico comparando los costes operativos del sistema modelado en un entorno centralizado (clásico) y en un entorno descentralizado (blockchain). Finalmente, se establecerán las conclusiones de dicho estudio económico, y se comentarán posibles desarrollos a futuro de este trabajo.

## **2. ESTADO DEL ARTE**

### **2.1. Introducción**

El primer objetivo del proyecto será crear una guía resumen práctica que permita la comparación de redes blockchain en el entorno de sistemas “Low Voltage Distribution Loop”. Para cumplir con el objetivo, el estado del arte se ha separado en tres partes. Primero, se hará una breve introducción a blockchain, con el fin de que el lector comprenda rápidamente la naturaleza de la herramienta. Seguidamente, se seleccionarán distintas tecnologías blockchain reales, con el fin de que éstas abarquen la mayor amplitud de configuraciones posibles. Así se tendrá una aplicación real de las diversas herramientas presentes en el mercado. Las herramientas deberán, por tanto, tener la capacidad de aplicación al entorno concreto descrito en este proyecto. Por ello, la elección de estas plataformas estará vinculada al entorno de distribución eléctrica a baja tensión. Finalmente, se describirá en detalle las características que componen una red blockchain. En cada componente descrito, se explicará la configuración concreta de cada herramienta de las elegidas anteriormente. De esta manera, se tendrá una visión simplificada de las configuraciones que puede llegar a tener una red blockchain. Además, se entenderá cuáles son las ventajas e inconvenientes de cada tipo de configuración.

### **2.2. Tecnología blockchain**

El objetivo de la primera sección del estado del arte es poder explicar el concepto de la tecnología blockchain en términos básicos. Una blockchain no es más que un libro contable compartido entre varios ordenadores [1, p. 23]. Cuando se quiere realizar un cambio en el libro contable, se emite un mensaje a la red, y todos los ordenadores con una copia del libro actualizan sus copias. Este concepto no es de ninguna manera nuevo. En esencia, el concepto sería el mismo que el de colgar un mensaje en un foro. Cuando se crea un nuevo hilo de conversación, todos los miembros del foro ven el nuevo mensaje al momento. La diferencia de este concepto con el de blockchain está en cómo se almacenan esas copias del libro contable.

El primer blockchain, el asociado a Bitcoin, iniciado en 2009, era un libro contable

descentralizado. Esto significa que no existe ningún miembro de la red con mayor o menor autoridad sobre el libro contable. Volviendo al ejemplo del foro, la manera en la que éste funciona es que cuenta con un servidor central, donde se guardan todos los hilos de conversaciones. Cuando un usuario cuelga un nuevo mensaje, manda ese mensaje al servidor central, y éste se encarga de actualizar el hilo de la conversación. Posteriormente, cuando el resto de usuarios entran en ese hilo, acceden a la copia del servidor central, y pueden ver el nuevo mensaje. Esta forma de compartir información se ha usado de manera predominante desde el comienzo de internet. Al tener la información en una única localización, el servidor central, esta información es siempre igual para todos los usuarios. Es así como se almacenan nuestras fotos en Facebook, nuestras películas en Netflix, y nuestro dinero en PayPal. El concepto de blockchain es descentralizar ese almacenamiento de la información. Así, todos los usuarios del sistema tendrán una copia original de la información.

La principal ventaja de esta descentralización es la seguridad: al haber múltiples copias del libro contable, no debemos temer que se robe o hackee la información del servidor central. Se tendrían que hackear la mayoría las copias (al menos el 51%) del libro contable para que se manipulara su contenido, en lugar de sólo una en el caso de un sistema centralizado. Una segunda ventaja es la eliminación del factor de confianza en el servidor central. Existen varias voces que alertan de la dependencia actual de los usuarios en el buen hacer de los grandes propietarios de servidores centrales. Estas voces temen que el propio administrador del servidor central se vuelva en nuestra contra y manipule el contenido de sus servidores sin el consentimiento de los usuarios. A través del blockchain, se pretende lograr una cierta democratización del control sobre el libro contable.

### **2.3. Herramientas blockchain a evaluar**

Existen múltiples configuraciones posibles que puede tener una blockchain. Por ello, antes de poder establecer las posibles configuraciones que pueden tener, se ha de escoger el abanico de opciones que se quiere estudiar. A continuación, se establecen las principales características de estas configuraciones, y sus respectivas ventajas e inconvenientes. En particular, dado el enfoque que tendrá este trabajo, y que las configuraciones posibles son casi infinitas, las tecnologías a comparar se limitarán a las siguientes: Bitcoin, Ethereum, NEO,

Ripple, SolarCoin e IOTA.

## **Bitcoin**

Se trata sin duda de la principal tecnología blockchain [2]. Fue la primera divisa en usar esta tecnología, y actualmente sigue siendo la divisa más valorada por ello. Sin embargo, dada su relativa antigüedad e incapacidad para adaptarse a nuevos avances del sector, su protocolo se está quedando algo obsoleto en comparación con la competencia.

## **Ethereum**

Una de las primeras alternativas que surgieron como rival a Bitcoin fue Ethereum [3]. Ésta proponía un sistema Turing completo [4, p. 232], donde no sólo se pudieran ejecutar transacciones entre nodos, sino también ejecutar pequeños programas, llamados contratos inteligentes de manera automática.

## **NEO**

Como evolución natural a Ethereum surge NEO [5]. NEO es una propuesta desarrollada por un equipo de expertos de China con una estructura de red bastante innovadora. Gracias a ésta y otras características, promete ciertas prestaciones que la aventajan respecto a la competencia, como son su diversidad de lenguajes de programación y su velocidad de confirmación.

## **Ripple**

Ripple es una gran alternativa para analizar la tecnología blockchain a nivel privado [6]. En contraste a Bitcoin, que se presenta como una alternativa totalmente revolucionaria para la industria de la banca, Ripple plantea un modelo intermedio. La industria de la banca históricamente ha sido lenta a la hora de implementar nuevas tecnologías a sus métodos. Ésta ha antepuesto la seguridad de su dinero a su accesibilidad. Por ello, Ripple pretende encontrar un compromiso entre las ventajas técnicas que aporta la tecnología blockchain y la seguridad que buscan los bancos.

## **SolarCoin**

Otra divisa que se evaluará propone un modelo completamente diferente, pero muy ligado al campo de la energía, con lo que será interesante de analizar. Se trata de SolarCoin

[7]. El concepto de SolarCoin es la conversión de energía solar en criptomonedas. De esta forma, cada MWh generado por un usuario será recompensado con 1 SolarCoin. Esta recompensa será independiente de otros incentivos a los que pueda estar suscrito el productor energético [8, p. 2]. El objetivo de SolarCoin, de esta forma, es vincular la creación de divisas digitales a un activo económico real: energía solar verificable.

## **IOTA**

Como alternativa final, se va a evaluar una propuesta completamente distinta del concepto de blockchain [9]. IOTA plantea una estructura de su red enfocada en dispositivos IoT (“internet-of-things”). De esta forma, se exige que cada dispositivo de la red sea validador, y para poder añadir una nueva transacción a la red, ese dispositivo deba validar antes 2 transacciones de la red. Las transacciones validadas se van incorporando en un gran esquema que contiene todas las transacciones históricas, llamado “tangle”. Aún en fase de pruebas, este sistema promete una dinámica completamente revolucionaria. Entre otras cosas, por ejemplo, transacciones sin comisión alguna.

## **2.4. Características principales de blockchain**

A continuación, se definen los principales componentes que configuran una red blockchain. Los componentes evaluados son los siguientes.

### **Estructura de la red**

La forma más simple de categorizar una blockchain es su estructura: si es pública o privada. Explicaremos brevemente las principales diferencias entre ambos tipos. Principalmente, una blockchain pública se define por ser:

- Pública: cualquier persona, usuario o no, puede comprobar las transacciones realizadas.
- Abierta: cualquier persona puede convertirse en usuario.
- Pseudoanónimas: los propietarios de las transacciones no son identificables directamente, pero sus direcciones sí, pues éstas son de carácter público.

Prácticamente todas las tecnologías blockchain más conocidas, como Bitcoin o Ethereum, son públicas, puesto que inicialmente, la motivación de éstas era aportar valor de manera abierta, como contrapartida a las tecnologías centralizadas que pretendían rivalizar.

Por lo general, una blockchain privada se diferencia de una pública por ser:

- Privada: sólo los usuarios pueden ver parte o la totalidad de la información de las transacciones realizadas.
- Cerrada: sólo se puede formar parte si se es invitado.
- Distribuida: Generalmente, se limitará el número de nodos de la red. Esto implicará una mayor vulnerabilidad frente a ataques, puesto que ésta disminuye a mayor número de nodos. Sin embargo, donde en blockchains públicas el mantenimiento de los nodos es voluntario, en las blockchains privadas los usuarios se comprometen a mantener la estabilidad del sistema.
- Anónimas: el nivel de anonimato queda a disposición de lo que deseen los usuarios.

La principal atracción de este modelo de estructuración es el equilibrio entre las mejoras que plantea la tecnología blockchain sin renunciar a ciertas cualidades que ya existían en los modelos tradicionales centralizados. La principal tecnología privada actualmente es Ripple, enfocada en el apoyo a los grandes bancos en sus transacciones internacionales.

## **Método de consenso**

El segundo factor que caracteriza a una blockchain es el denominado método de consenso. Esto se refiere al método elegido por el sistema para que los nodos se pongan de acuerdo respecto a qué transacciones tienen validez. Existen varias propuestas respecto a la manera en la cual los diversos ordenadores de la red consiguen alcanzar un consenso predominante. La solución que presenta la blockchain de Bitcoin a este problema se basa en el sistema de prueba de trabajo, o “proof-of-work” (PoW).

Antes de explicar el concepto de PoW, es necesario entender qué se requiere para poder alcanzar un consenso entre varias máquinas respecto a la validez de una transacción. Ya desde los inicios de internet, se ha tratado a fondo el concepto de la descentralización de la información. La naturaleza abierta de internet así lo sugiere. En concreto, el uso de dinero digital. Respecto al uso de divisas de manera descentralizada, el principal escollo que siempre se presentaba es lo que se denomina el doble gasto. En un sistema centralizado, cada vez que

se quiera realizar una transacción, se le pedirá al servidor central que compruebe el saldo de la cuenta en cuestión. En sistemas clásicos, con un único servidor, todas las transacciones deben pasar por el mismo filtro, y por lo tanto tendrán un orden preestablecido. Así, si un cliente realiza dos transacciones prácticamente a la vez, pero sólo tiene saldo para pagar una de las dos, la segunda transacción será revocada al instante. En un sistema descentralizado, dado que la red entera es responsable de mantener el control del libro contable, esto es más complicado. Dos transacciones pueden ser verificadas por nodos distintos de la red, y, por lo tanto, ambas ser validadas. Hace falta implementar un sistema que permita ordenar todas las transacciones de manera consensuada a toda la red. Aquí comienza a entrar en juego el concepto del “proof-of-work”.

El concepto básico detrás del “proof-of-work” también es anterior al Bitcoin. Se trata de un sistema en el cual se requiere al usuario un cierto trabajo computacional antes de poder completar una acción. Uno de sus usos iniciales fue en servidores de correos electrónicos, con el fin de limitar el envío de emails spam. Cuando un usuario quiera mandar un email, el ordenador de éste deberá encontrar previamente la solución a una ecuación matemática compleja, llamadas funciones hash criptográficas. Para la mayoría de los usuarios, esto no requiere un gran impedimento, pero para máquinas que desean enviar email spam de manera masiva, la resolución de esos problemas puede conllevar un uso de energía computacional tan elevado que haga ineficiente su envío. Las ecuaciones matemáticas que se usan en estas pruebas son asimétricas. Esto implica que la manera óptima de encontrar su solución es por ensayo-error, pero es sencillo comprobar que la solución es correcta una vez se ha hallado ésta. Además, las ecuaciones siguen una distribución de probabilidad de Poisson, por lo tanto, se puede estimar de manera bastante precisa el tiempo que se tardará en resolver [1, p. 242]. Esta herramienta se utiliza para asignar una jerarquía a las transacciones en Bitcoin.

Cuando una nueva transacción se quiere añadir al libro contable, ésta se agrupa con otras transacciones en bloques (de ahí el nombre blockchain, o cadena de bloques). Varios bloques se van creando en todo el mundo a medida que la gente realiza transacciones. Aquí entran en juego los denominados “mineros”. Éstos se encargan de realizar la prueba de trabajo. Cada minero tratará de encontrar la solución a un bloque, y el primero que lo consiga será el que añada su bloque al blockchain. Este trabajo computacional se recompensa con nuevo Bitcoin generado automáticamente, como si fuera nuevo oro minado y puesto en circulación, de ahí el nombre de “mineros”. Este mecanismo también permite introducir de manera

controlada nuevas unidades de Bitcoin al sistema, equilibrando así su oferta y demanda de manera más ajustada. En el caso de que dos bloques distintos fueran minados a la vez por usuarios distintos, entraría en juego la democratización del sistema. En este caso, se comenzarían a crear dos versiones independientes del libro contable. En ese momento, los mineros deberán decantarse por uno de los dos, y continuar añadiendo bloques a éste. Al cabo de un tiempo, una de las dos versiones comenzará a ser notablemente más larga, y se impondrá como la versión consensuada por la mayoría, desechándose la otra (por lo general, se estima que como mucho tras 6 bloques se encuentra consenso). En resumen, la prueba de trabajo actúa como una lotería que asigna el orden en el que se incluirán las transacciones al libro contable, resolviendo así el principal problema del dinero virtual, el doble gasto.

El sistema planteado por Bitcoin muestra una solución bastante elegante al problema del doble gasto, pero el concepto de la prueba de trabajo trae consigo un nuevo factor: el coste computacional. A medida que la red se hace más grande y hay más “mineros”, las ecuaciones matemáticas también se complican, y la potencia computacional necesaria para resolver los problemas es mayor. Es por ello que existen otras variaciones de la blockchain original que pretenden conseguir el mismo consenso distribuido que permite la prueba de trabajo.

Una alternativa es la prueba de participación, o “proof-of-stake” (PoS). A diferencia del sistema anterior, donde la capacidad de minar bloques era proporcional a la capacidad computacional del usuario, en este sistema, la capacidad de minar es proporcional a la proporción relativa que se tenga de unidades de la divisa. Aquellos usuarios que deseen ser mineros, o validadores como se les llama en este caso, apuestan parte de su dinero a la posibilidad de validar un bloque. La asignación del validador se realiza de manera aleatoria, con mayor probabilidad de ser elegido cuanto mayor sea la participación apostada. El usuario que gane la lotería se llevará los beneficios totales recolectados y validará que el bloque es correcto. En este sentido, la recompensa funciona de manera similar a los dividendos en una empresa, pagándose en base a su participación en la empresa o divisa. Este método tiene la ventaja de que no requiere de altos costes de computación, pues la validación se puede realizar con cualquier procesador comercial. En segundo lugar, la asignación en base a la participación desanima a los usuarios a querer engañar al sistema, puesto que, a mayor participación del validador, mayor es la apuesta que ha realizado en el bloque a validar. El gran problema que se encuentra esta propuesta es que en el caso de generarse dos versiones distintas del blockchain, y dado que la validación es mucho más barata que en la prueba de trabajo, no hay

incentivo para llegar a un consenso natural. Se están desarrollando propuestas para poder solventar este problema, y ya son varias las criptomonedas que ven en esta alternativa una solución real. La divisa más valorada tras Bitcoin, Ethereum, cambiará su protocolo de consenso de “proof-of-work” a “proof-of-stake” en su próxima versión [10]. Otra tecnología que usa una variante similar de este método de consenso es SolarCoin. En este caso, el método se llama “proof-of-stake-time” o PoST, donde el tiempo es otro factor a tener en cuenta durante la validación. De esta forma, tokens transferidos antes en el tiempo tienen más valor. Por lo tanto, este sistema incentiva la lealtad en la moneda, y aumenta el valor de los clientes más antiguos.

Una de las novedades que plantea NEO respecto a Ethereum, su sistema más parecido, es su método de consenso, denominado dBFT, o “delegated Byzantine Fault Tolerance”. Este método difiere del método de PoS esencialmente en cómo trabajan los validadores. De la misma manera que en PoS, los validadores apostarán parte de sus tokens como aval en caso de malas prácticas. Sin embargo, en vez de haber un único validador elegido aleatoriamente para cada bloque, todos los validadores trabajarán conjuntamente en la validación de cada bloque [11]. Cuando un bloque alcanza una aceptación de  $\frac{2}{3}$  de todos los validadores, se da por válido. Una de las ventajas de este método es la protección final del bloque, puesto que todos los validadores han trabajado en él. Además, limita la capacidad de bifurcaciones, puesto que cada bloque individual se verifica en conjunto. Finalmente, requiere de un menor número de validadores para considerarse segura que otros métodos.

Ripple utiliza un método de consenso algo más centralizado, en algunos casos denominado “proof-of-authority”. Aquí, únicamente validan bloques ciertos nodos autorizados para ello. Este sistema es muy útil en blockchains privadas, donde la admisión al sistema se limita por una entidad reguladora. En Ripple, la cadena de bloques son una serie de “pantallazos” de los balances en cada instante de los clientes de la red, junto con la lista de las transacciones nuevas añadidas a la cadena [12]. De esta manera, cada validador únicamente debe sumar las transacciones nuevas a su copia del último pantallazo de los balances para comprobar que su nueva versión de los balances coincide con la versión distribuida a todos los nodos. Cada versión se somete a una votación. Cuando el consenso en la votación alcanza una mayoría del 80% se considera como definitiva la versión de libro contable. Ésta se almacena en la cadena, y la votación continua en la siguiente versión. Para estos sistemas donde la red generalmente es más pequeña y todos los miembros validadores son conocidos,

este método de consenso es mucho más eficiente, y le permite a Ripple alcanzar consenso en cuestión de segundos en toda su red.

Finalmente, se tratará el caso de IOTA, y su innovador método de consenso. Es crucial entender que la estructura de IOTA está diseñada principalmente para su uso por parte de dispositivos automatizados, más que para transaccionar entre personas. Por ello, decidió crear un sistema que permitiera la validación de una transacción de manera muy rápida. Toda transacción que se desee incluir en la red deberá ir vinculada a una serie de transacciones más antiguas que contengan un saldo mayor o igual a la cantidad transferida en la transacción. Un validador, posteriormente, únicamente deberá asegurarse que esas transacciones asociadas son verídicas, y la transacción en cuestión quedará validada. Es importante destacar la diferencia en la arquitectura de la cadena de bloques entre el resto de blockchains e IOTA. Mientras que el resto ordena todas las transacciones en bloques, y todos los bloques en el mismo orden para todos los nodos, IOTA permite una estructura más libre. Utiliza lo que denomina un “tangle”. Esto es una agrupación de todas las transacciones, no en un orden lineal, sino en forma de malla, con cada transacción vinculada al menos a otras dos. El “tangle” está dividido en subconjuntos independientes, que permiten que un nodo no necesite descargarse todo el “tangle” para poder validar. Así se reduce el espacio de almacenamiento requerido, puesto que no se requiere tener una copia de la blockchain entera, únicamente de un subconjunto. Dado que en IOTA cualquier nodo debe tener la capacidad de validar, hasta los dispositivos IoT más básicos tendrán capacidad de almacenar un subconjunto del “tangle”. Además, al no requerir de un orden concreto de las transacciones, la velocidad de confirmación es mucho más rápida, y se vuelve más rápida cuantos más usuarios tenga.

### **Tamaño de bloques**

Otro factor importante a la hora de configurar una blockchain es el tamaño que tendrán los bloques de la cadena. Existen diversas propuestas, cada una con sus ventajas y sus inconvenientes. En el caso de Bitcoin, el tamaño está limitado a 1 MB por bloque. De nuevo, este valor fue el fijado originalmente en la propuesta inicial de 2008, y no se ha modificado desde entonces. Inicialmente, el tamaño era apropiado para no exigir un espacio de memoria excesivo a los mineros. Sin embargo, hoy en día, este tamaño ha quedado algo obsoleto en comparación con otras alternativas, las cuales permiten incluir más información en las

transacciones, como contratos inteligentes y aumentar el número de transacciones por bloque, reduciendo así el tiempo de confirmación. La incapacidad de la red Bitcoin de decantarse por aumentar el tamaño de bloques o mantenerlo constante ha sido una de las principales causas de las recientes bifurcaciones duras, o “hard forks”, de la red. En estas bifurcaciones, una parte de la red decide aceptar un nuevo protocolo, como Bitcoin Cash, que establece un tamaño de bloque de 8 MB y con capacidad de reajustarse en el futuro, y el resto de la red continua utilizando el protocolo original [13]. El modelo de SolarCoin es similar al de Bitcoin, pero con un tamaño de bloque algo más pequeño, unos 516 kB, puesto que su uso está diseñado para unas aplicaciones más concretas que requieren menos información por transacción.

En comparación a Bitcoin y SolarCoin, Ethereum ha mejorado bastante su propuesta de tamaño de bloques. A pesar que, en término medio, los bloques son más pequeños (unos 2 kB en comparación con 1MB de Bitcoin), el tamaño del bloque no está vinculado a un espacio de bytes, sino al consumo que pueda llegar a consumir ese bloque, llamado Gas. En otras palabras, si un bloque contiene un contrato inteligente complejo, que consumirá bastante energía de la red al procesarlo, o mucho Gas, ese contrato ocupará mucho o casi todo el bloque, mientras que otros bloques podrán contener varios contratos menos pesados. Esta metodología permite moldear mucho mejor los bloques a su contenido, y no al revés, generando una red mucho más adaptable, escalable, y eficiente. NEO propone el mismo concepto que Ethereum, con un tamaño medio de bloque de en torno a 2 kB también.

Como se menciona anteriormente, Ripple plantea una estructura de su red algo distinta a las blockchains anteriores. Ésta, en vez de encadenar una serie de bloques, encadena versiones del libro contable, donde se muestran los balances de todas las cuentas en cada instante. Puesto que su uso está muy reducido al mundo financiero, este método tiene más lógica que los planteados por Ethereum o NEO, donde las aplicaciones finales son mucho más variadas.

Finalmente, en el caso de IOTA, como ya se ha mencionado, no se trata de una cadena de bloques, con lo cual no existe un tamaño de bloques fijo como tal, sino que todas las transacciones validadas se añaden al “tangle” de manera individual. De nuevo, esta característica amplía mucho las potenciales capacidades que puede tener esta tecnología.

## **Frecuencia de actualización**

La frecuencia de actualización es el principal factor que determinará la velocidad de procesamiento de transacciones de una red. En el caso de Bitcoin, por ejemplo, la dificultad de la prueba de trabajo se actualiza constantemente con el fin de mantener la frecuencia de actualización en torno a los 10 minutos [14]. Existen muchas voces en la industria que consideran esta velocidad algo obsoleta, y las alternativas a Bitcoin están planteando frecuencias mucho más altas como contrapartida.

Es el caso de Ethereum, NEO, SolarCoin y Ripple. Aunque todas tengan tamaños de bloque y métodos de consenso distintos, todas comparten una frecuencia de actualización de menos de 1 minuto. En el caso de Ethereum y NEO, a pesar de ser redes públicas grandes, consiguen unas frecuencias de unos 10-19 segundos [14]. Esto es necesario para que los contratos inteligentes asociados puedan sincronizarse a lo largo de toda la red de manera eficiente. En el caso de Ripple, es vital a la hora de diferenciarse de las alternativas centralizadas el conseguir tiempos de actualización muy rápidos.

De nuevo, dado que IOTA no cuenta con bloques como tal, no requiere de una frecuencia de actualización, más allá de la capacidad que tenga la red de propagar las nuevas transacciones validadas. En este momento, la red es capaz de gestionar alrededor de 600 transacciones por segundo.

## **Comisiones**

Desde el comienzo, más allá de la visión filosófica que sus fundadores pretendían lograr con la creación de la tecnología blockchain, el principal motivo detrás del desarrollo de esta tecnología era la reducción en los costes de transacciones. Es por ello que las comisiones asociadas a las distintas tecnologías blockchain son un factor importante a evaluar. Bitcoin es particularmente curioso en este aspecto. Aunque en sus inicios alardeó de unos costes de comisión muy bajos, la realidad es que su estructura de red establece una proporcionalidad entre el uso de la red y las comisiones. Puesto que la frecuencia de actualización y el tamaño de los bloques son fijos, a mayor volumen de transacciones propuestas, mayor saturación de la red y mayor consumo de energía, con lo cual los mineros elegirán validar antes las transacciones que más comisión les paguen. Se han llegado a dar picos de hasta 55 dólares por transacción, como se alcanzó el 22 de diciembre de 2017 [15]. Esto limita la facilidad de

implantación de esta tecnología en nuevas y diversas áreas. SolarCoin funciona bajo el mismo principio que Bitcoin, pero dado su menor volumen de transacciones, sus comisiones actuales son casi despreciables.

Ethereum y NEO plantean una metodología de comisiones muy distinta, y, tal vez más efectiva en el futuro. Hace uso del concepto de Gas. El Gas ha sido vinculado a un bloque que se va consumiendo a medida que el contrato inteligente del bloque se ejecuta, y se le va pagando al minero que validó el bloque. Esto vincula de cierta manera la complejidad del bloque validado con la recompensa que se recibirá a cambio de validarlo. A día de hoy, tanto Ethereum como NEO tienen unos costes de Gas relativamente bajos, con lo que la comisión es muy baja comparada con Bitcoin.

Ripple propone un método muy curioso de costes de transacción. Ripple desde su comienzo creó 100 mil millones de unidades de la divisa de uso, llamada XRP, y no planea crear más unidades. Posteriormente, cada transacción realizada deberá llevar asociada 10 drops, o 0,00001 XRP, que serán destruidos en la transacción. Esta técnica obtiene 2 consecuencias beneficiosas. Por un lado, el coste de la transacción es casi cero, y por otro, al haber un número finito de XRP en circulación, la destrucción de unidades de la moneda hace aumentar el valor del resto de monedas en circulación, beneficiando a los usuarios.

En el interesante caso de IOTA, dado que cada nueva transacción requiere de la validación de otras 2 transacciones, no cuenta con comisión adicional, puesto que el rol de validador lo están cumpliendo los propios usuarios. A pesar de lo atractivo de esta propuesta de cara al usuario final, sigue siendo una propuesta con poca evaluación práctica, dado que el programa sigue aun en modo de pruebas.

## **Creación de tokens**

Existen varios métodos a la hora de crear los tokens que irán vinculados a una blockchain. El primer caso es el de minado de los tokens, popularizado por Bitcoin. En este caso, los mineros encargados de mantener la red en funcionamiento son recompensados con nuevas unidades de token creadas de la nada cuando éstos minan un nuevo bloque. Actualmente, este método también lo utiliza Ethereum, previo a su cambio al proof-of-stake. Esta introducción de nuevas unidades a la red sigue una relación logarítmica, de tal manera que se alcanzará un máximo final de monedas en circulación: 21 millones en 2140 en el caso

de Bitcoin [1].

NEO, Ripple, IOTA plantean un sistema con un suministro inicial de todos los tokens, 100 millones en el caso de NEO, 100 mil millones para Ripple y  $2,79 \times 10^{15}$  para IOTA. La ventaja estratégica de esta propuesta es la financiación inicial de la plataforma. La mayor parte de los tokens creados los conservarán en su posesión los fundadores de las plataformas, y se utilizarán como forma de costear la puesta en marcha inicial de las redes. Estas prácticas han derivado en lo que se denominan ICO, “inicial coin offering”, muy similares a las salidas a bolsa de empresas, pero con menos restricciones legales.

El caso de SolarCoin es parecido al mencionado anteriormente, pero los tokens creados no los posee nadie, sencillamente se van otorgando a los generadores de energía solar a medida que venden esa energía a la red.

### **Número de nodos**

A la hora de diferenciar ciertas tecnologías blockchain de otras, una característica importante es su distribución. Dado que a mayor número de nodos más segura y difícil de atacar se presupone que será la red, el número de usuarios es un factor importante a valorar. Las redes públicas más populares cuentan con los mayores números de nodos, como pueden ser los casos de Bitcoin, con unos 12.000 mineros, o Ethereum, con unos 10.000. Otras redes más recientes, como SolarCoin o NEO aún no cuentan con números de usuarios tan altos, pero se proponen ir en la misma dirección. Como contrapartida tenemos la estructura predominante en redes privadas como Ripple, donde el número de nodos no es tan crítico al haber mucho más conocimiento sobre quién valida la información. En este caso, se habla de entorno a apenas 55 validadores [16].

Además, el número de nodos será un factor crítico si uno desea establecer de cero una red, en particular por el concepto de escalabilidad. Escalabilidad hace referencia a la capacidad de una red a aumentar de tamaño, o de usuarios. En las tecnologías blockchain esto es un tema aún cuestionado, dado que los principales participantes de la industria han mostrado cierta debilidad a la hora de adaptarse a altas cuotas de demanda por los usuarios [17]. Dada la naturaleza de inmutabilidad asociada a la tecnología, el proceso de escritura de bloques presenta un cuello de botella dentro de la red. Es por ello que existen picos de demanda donde la red se puede ralentizar considerablemente, y desencadenar a altas comisiones. Por esto,

entre otras cosas, será crucial antes de decantarse por una red en concreto, establecer una estimación de nodos con el fin de diseñar una red lo más eficiente posible, y que requiera los menores cambios de escalabilidad en el futuro.

El resumen completo de la evaluación de las diversas tecnologías blockchain evaluadas se puede ver en las tablas posteriores.

Tabla 1: Resumen Configuraciones Tecnologías Blockchain 1

	<b>Característica Principal</b>	<b>Estructura de la red</b>	<b>Método Consenso</b>	<b>Tamaño de bloques</b>
<b>Bitcoin</b>	Principal moneda en blockchain - completamente descentralizada - protocolo algo obsoleto al ser el más antiguo	Pública, de libre acceso	Proof of Work	Limitado a 1 MB
<b>Ethereum</b>	Ampliación de Bitcoin a cualquier transacción programada - Turing completo	Pública, de libre acceso	GHOST - PoW que permite recompensar bloques laterales (tíos) - permite creación bloques más rápida - Pronto adoptará PoS	Limitado a 1,5 millones de Gas Transacciones normales continen 21.000 Gas, bloques ocupan unos 2 KB Puede gestionar hasta 10.000 transacciones por segundo vs 10 que gestiona Ethereum (throughput)
<b>NEO</b>	Versión mejorada de Ethereum, incluido el componente de identidad digital, diversidad de lenguajes y velocidad	Pública, de libre acceso	dBFT	
<b>Ripple</b>	Alternativa intermedia, diseñada para más fácil adopción por empresas financieras	Pública para utilizar, acceso limitado para validar	Ripple Protocol Consensus Algorithm - al ser una red restringida, el consenso se alcanza entre miembros de confianza	Se añaden una lista de transacciones al libro de cuentas, y éste se vota y actualiza - mucho más rápido
<b>SolarCoin</b>	Divisa enfocada exclusivamente a la compra-venta de energía solar	Pública, de libre acceso	PoST (proof-of-stake-time)	516 bytes
<b>IOTA</b>	Estructura de red completamente innovadora - ideal para escalabilidad e IoT	Pública, de libre acceso	Tangle / DAG	No tiene limite

Tabla 2: Resumen Configuraciones Tecnologías Blockchain 2

	Frecuencia actualización	Comisión	Creación moneda	# nodos
<b>Bitcoin</b>	Aprox. cada 10 min	Comisión proporcional a la demanda de la red - picos de hasta 55 USD/transacción	12.5 BTC por bloque (reducción asintótica) hasta 21 millones	12.000 nodos mineros Tiempo de propagación media al 50% de la red - 6.5 segundos
<b>Ethereum</b>	Aprox. cada 12 segundos	Los contratos consumen Gas para ejecutarse (45 millones Gas ≈ 1 ETH), ese Gas se le paga al minero	5 ETH constantes por bloque, 0,15625 por bloque tío referenciado (máx: 2), 4,375 ETH para creadores bloques tíos	10.000 nodos mineros
<b>NEO</b>	Aprox. 20 segundos	Los contratos consumen Gas para ejecutarse - actualmente, coste casi cero de transacciones	Hay 100 millones de NEO creadas desde el principio - La mitad se la quedan los fundadores	Unos 6.000, unos 200 validadores
<b>Ripple</b>	Aprox. 10 segundos	Se destruyen 10 drops (0,00001 XRP) por transacción para evitar spams - al destruirse aumenta el valor en el resto de usuarios	Hay 100 mil millones de XRP desde el comienzo, la mayoría las conserva Ripple Labs	Unos 55 validadores - aún bastante centralizada
<b>SolarCoin</b>	Aprox. cada 1 min	0,0001 SLR	Se han creado 97.5 mil millones de tokens para ser distribuidos hasta 2050, pero no las posee nadie. Por 1 MWh producido se gana 1 token	Ya en circulación 38 millones de tokens
<b>IOTA</b>	Continuamente - Actualmente gestiona unas 500-800 transacciones	No tiene comisiones	Hay 2,79E15 creadas desde el principio	Imposible de contar - nodos no existen como en resto de tecnologías

## **3. ARQUITECTURA DEL SISTEMA**

### **3.1. Introducción**

La definición de la arquitectura del sistema se compone de cuatro fases generales. En primer lugar, se definirá el modelo del sistema eléctrico que se usará para la comparativa. Aquí se establecerán las variables que se usarán en el sistema, y por lo tanto impactarán al dimensionamiento y al coste final que tendrá la estructura. Seguidamente, se deberá definir el modelo tecnológico que gestionará la información del equipo eléctrico. Aquí se definen los tipos de operaciones que se podrán ejecutar en la red, entre usuarios e internamente la propia arquitectura. Finalmente, se deberán plasmar los componentes computacionales que necesitará el equipo. En primer lugar, para el modelo centralizado, y posteriormente, para el descentralizado.

### **3.2. Definición del sistema eléctrico**

Para el sistema eléctrico a estudiar, se tomará como referencia el modelo utilizado mostrado en la figura posterior [18, p. 42], que consta de una red de 3 casas unifamiliares en Valencia. El sistema incluye, además de estos tres puntos de demanda, un módulo fotovoltaico y una batería de almacenaje.

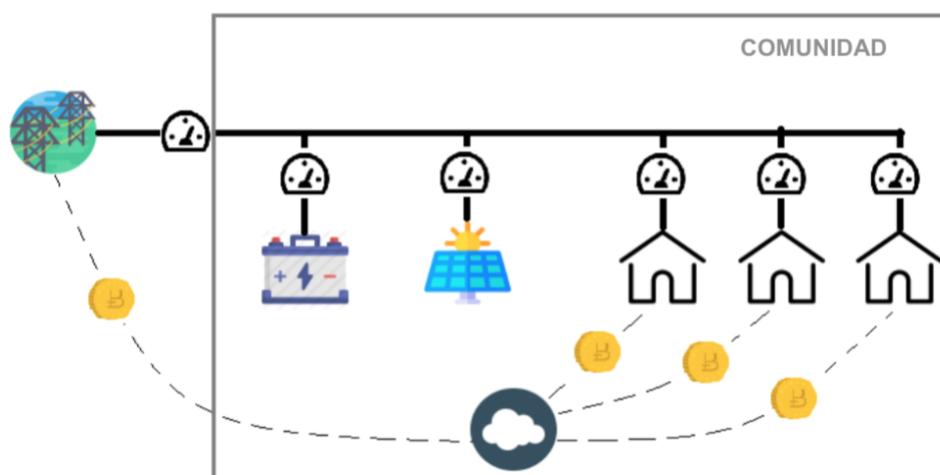


Figura 1: Esquema de Sistema Elegido

Como se puede observar en el esquema, el sistema tiene un único punto de conexión con la red externa. Existen 6 lectores inteligentes, cada uno en cada elemento de la comunidad, y uno a la entrada de la agrupación de viviendas. Asimismo, se puede observar en el esquema que existe un sistema de gestión de transacciones, representado por una nube. En este sistema, se involucran únicamente los 3 puntos de demanda de la comunidad, al igual que el punto de conexión con la red externa. Estos valores se usarán como referencia a la hora de dimensionar los sistemas de gestión de transacciones. Se sobredimensionarán los valores en el estudio con el fin de que los equipos de gestión de transacciones elegidos puedan soportar el crecimiento de la comunidad.

### 3.3. Definición del sistema de gestión de transacciones

Para poder realizar adecuadamente la comparativa deseada, no sólo será necesario definir el entorno eléctrico que se va a usar. Se deberá entrar en detalle respecto a la naturaleza de las transacciones que se permitirán realizar en el sistema. Sólo así se podrá realizar una comparativa equitativa de los sistemas centralizados y blockchain.

Las características básicas que se necesitarán establecer en el sistema de gestión serán:

- Gestión de mediciones: el sistema deberá registrar continuamente mediciones de

energía de los lectores.

- Gestión de mercado de ofertas: el sistema deberá proveer de una plataforma para que los usuarios generadores muestren sus ofertas energéticas.
- Gestión de aceptación de ofertas con compras: el sistema deberá establecer la metodología de aceptación de las ofertas propuestas con las demandas solicitadas.
- Gestión de pagos: además de los registros y las aceptaciones anteriores, se realizarán los cálculos pertinentes que cada usuario deberá ejecutar en cada franja horaria.
- Gestión de registro de pagos: el sistema soportará un registro de confirmación de los pagos una vez validada la transacción energética.

Se entrará a continuación a explicar en más detalle cada uno de los componentes establecidos anteriormente.

### **Gestión de mediciones**

El modelo utilizado cuenta con 6 lectores inteligentes. Para poder soportar cualquier gestión de transacción energética, todas las medidas de energía deben quedar registradas en una entidad común a todos los usuarios. De esta manera, se podrán realizar cálculos sobre los flujos energéticos entre los usuarios de manera transparente para todos. Estas mediciones se deberán almacenar de manera segura. Por cuestiones de privacidad de datos, esta información deberá ser privada. Únicamente se tomarán los datos necesarios para verificar las transacciones que se realicen.

El funcionamiento del sistema tratará de equipararse con el del mercado eléctrico común. Por lo tanto, el sistema está configurado para que las ofertas energéticas entre usuarios se limiten a una cierta potencia acordada para una franja horaria concreta. Para soportar esto, el registro de los medidores deberá registrar la energía entrante y saliente por cada nudo del sistema cada hora.

### **Gestión de mercado de ofertas**

Todas las ofertas dentro del sistema serán compartidas de manera masiva a todos los usuarios. El contenido de las ofertas se centrará en la franja horaria en la que se oferta la energía, cuanta energía se oferta, y el precio. La oferta incluirá, además, información pertinente

respecto a la energía proveída, como por ejemplo su fuente, para que los consumidores cuenten con mayor conocimiento a la hora de elegir su fuente de energía.

Para que tanto la creación de las ofertas como la aceptación de éstas sea más justa para todos los usuarios, el sistema hará uso de algún algoritmo que permitan estimar cuál es el precio óptimo para cada franja horaria ofertada. En otras palabras, será un algoritmo de ayuda al usuario. De esta manera, tanto usuarios experimentados en el mercado eléctrico como aquellos menos habituados tendrán mayor conocimiento del estado del mercado. La estimación del algoritmo se leerá de una fuente externa, para simplificar las computaciones que deba realizar el sistema. Se sugiere el uso de la herramienta ESIOS [19], de Red Eléctrica de España, como fuente para esta estimación.

### **Gestión de aceptación de ofertas con demanda**

Una vez un usuario ha publicado una oferta en el sistema, y otro la ha aceptado, debe haber un procedimiento de aceptación, para que una misma oferta no sea aceptada por varios usuarios a la vez. Tras la aceptación de cada oferta, se informará a ambos miembros de la transacción energética a realizar, y se registrará el acuerdo en el sistema. Este registro tendrá una lógica asociada que compruebe la ejecución de la transacción cuando llegue la franja horaria del acuerdo.

### **Gestión de pagos**

Para sistema centralizado, la ejecución del pago no ocurrirá de manera directa entre los usuarios. Dado que toda la comunidad energética comparte comercializadora, la gestión de los pagos se realizará a través de esta entidad. Mensualmente, cada usuario tendrá vinculado a su factura energética la totalidad de sus transacciones del mes. Por un lado, los pagos a realizar por la energía adquirida, y por otro, los cobros a recibir por la energía vendida. Estos valores se descontarán directamente del total a pagar a la comercializadora, simplificando así el flujo de datos en el sistema. En la plataforma blockchain, en cambio, el pago sí que podrá ejecutarse al momento una vez se cumpla con la transacción energética, ya que la tecnología así lo permite, sin coste añadido.

Un factor importante a considerar en esta etapa será qué ocurre cuando uno o ambos usuarios no cumplen el acuerdo. A nivel energético, esto puede generar importantes desfases en la energía que fluye en la red, afectando a su estabilidad. Si se trata de un usuario consumidor que no absorbe la energía que acordó consumir, la oferta en la red superará a la demanda. Por

el contrario, si un usuario generador no cumple con su suministro establecido, la red se resentirá por falta de oferta. Para poder evitar estos fallos, se han de establecer penalizaciones por falta de cumplimiento de los acuerdos bilaterales, tanto a nivel generador como consumidor.

Como continuación al punto anterior, se ha de comentar la gestión que hará el sistema de la regulación secundaria. Los posibles desfases que ocurran como consecuencia de volcados inesperados de energía, así como de usos de demanda no previstos, se deberían regular a través de un mercado secundario. Ésta podría ser sin duda una interesante continuación de investigación del proyecto. Sin embargo, para el enfoque de este estudio, la regulación secundaria no se tendrá en cuenta.

### **Gestión de registro de pagos**

El registro de los pagos quedará asociado al acuerdo energético entre ambas partes. En primer lugar, el sistema comprobará que la transacción energética se ha realizado. Si la valora como válida, se activa un “flag” de confirmación asociado al acuerdo, indicando que el acuerdo energético ha sido completado.

Una vez establecida la lista de gestiones que debe poder manejar el sistema, se puede proceder a definir qué requisitos tecnológicos implican las tareas establecidas, con el fin de poder dimensionar el coste del sistema.

## **3.4. Requerimientos del sistema centralizado**

Los requerimientos tecnológicos que tendrá cada variante del sistema, tanto la versión centralizada como la descentralizada, serán diferentes. Primero se procede a establecer los requisitos del sistema centralizado.

Las características básicas que deberá soportar el sistema son las siguientes:

- Aplicación web: una interfaz que permita a los usuarios interactuar entre sí y con el sistema central
- Servidor: el sistema encargado de gestionar las tareas lógicas del sistema, aceptación de ofertas y demandas, gestión y asentamiento de pagos, y lectura de información externa, como las medidas de los lectores, o las estimaciones de precios óptimos

- Base de datos: sistema de almacenamiento de las mediciones, ofertas, aceptaciones y pagos

En la Figura 2 se muestra un esquema simplificado de la estructura que tendrá el sistema.

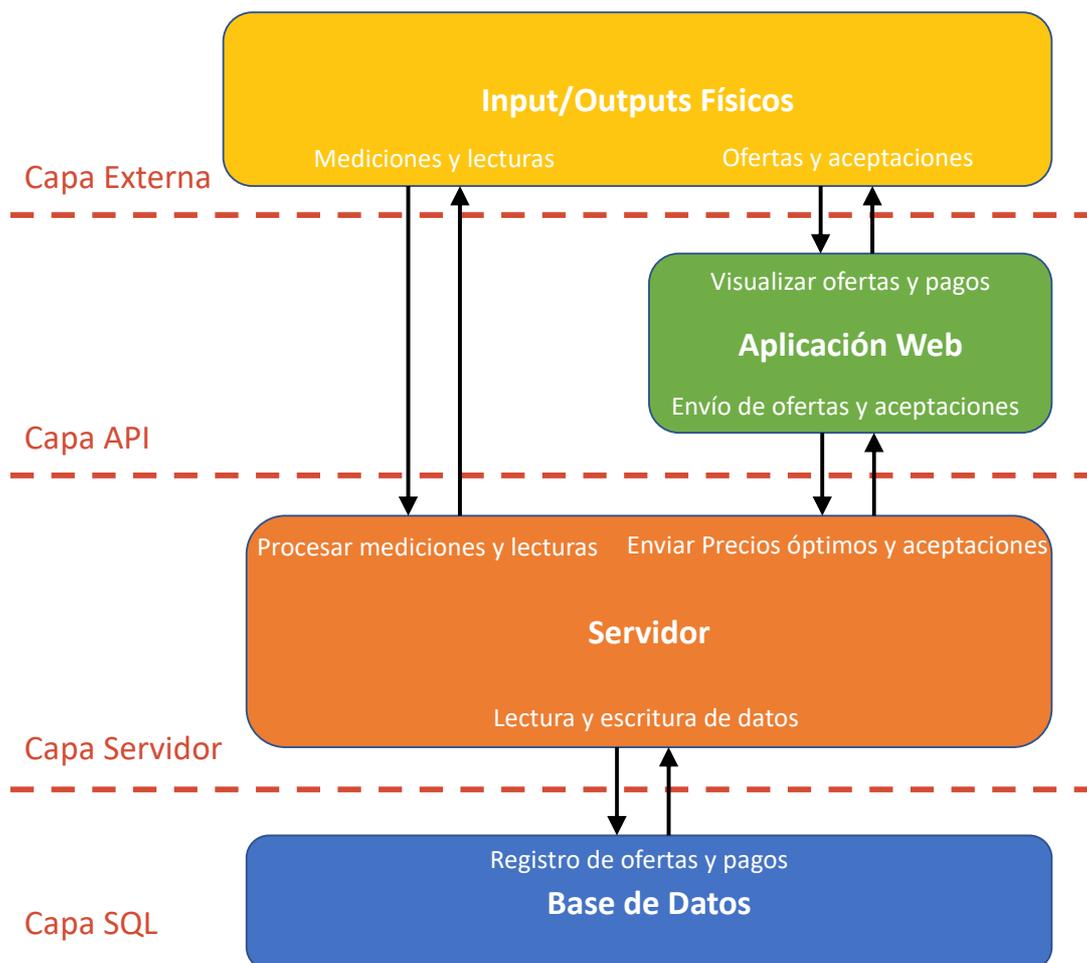


Figura 2: Esquema Estructura Sistema Centralizado

A continuación, se entrará a desarrollar cada una de estas características para el modelo concreto utilizado.

## **Aplicación web**

El sistema deberá tener una interfaz externa diseñada para el uso tanto de usuarios generadores como consumidores. A través de esta interfaz, los usuarios podrán:

- Crear las ofertas energéticas que consideren y ver cuando esas ofertas hayan sido aceptadas por los correspondientes consumidores
- Ver el estado de sus medidores en cada momento, para así conocer mejor cuando deben realizar ciertas ofertas
- Ver todas las ofertas disponibles en el mercado, además de información más específica de cada una de las ofertas, y permitir aceptarlas
- Tener acceso a estimaciones de precios
- Visualizar los pagos hechos y por hacer

## **Servidor**

La aplicación web descrita anteriormente deberá comunicarse con el sistema central vía un servidor. Es el servidor el encargado de ejecutar todos los programas y las lógicas establecidas en el sistema, y comunicarse tanto con la capa exterior de la aplicación web, visible a los usuarios, como con la capa interior, o base de datos. En concreto para el sistema descrito, el servidor deberá soportar:

- Procesamiento de todas las mediciones de los lectores inteligentes
- Procesamiento de la estimación de precios óptimos
- Lectura, difusión y registro de todas las ofertas creadas
- Procesamiento de las aceptaciones de las ofertas
- Generación de acuerdos
- Comprobación del cumplimiento de los acuerdos energéticos
- Valoración de posibles penalizaciones por incumplimiento
- Registro de pagos tras cumplimiento de los acuerdos
- Cálculos de liquidaciones finales a saldar por cada usuario

## **Base de datos**

La base de datos se encargará de almacenar ordenadamente todos los datos que sean necesarios para el control del sistema. En concreto, dado lo establecido anteriormente en la descripción del sistema, la base de datos almacenará:

- Las mediciones de cada lector para cada franja horaria, tanto de entrada como salida
- Para cada franja horaria y para las franjas futuras hasta un cierto punto, se almacenará el precio óptimo calculado por el algoritmo externo
- Registro de las ofertas emitidas, incluyendo información sobre el tipo de energía ofertada, el precio y la franja horaria
- Registro de los acuerdos, incluyendo aquí información de cada miembro del acuerdo y los precios acordados
- Asociado a las aceptaciones, se registrará la confirmación de pagos ejecutados
- Listado completo de pagos y cobros de cada usuario

### **3.5. Definición de equivalencias con plataforma en nube**

Tras definir las condiciones técnicas genéricas que debe tener el sistema, se debe proceder a definir la metodología de estimación de costes para dar soporte a dicho sistema. Tras contrastar diversas formas de realizar este cálculo, se estipuló que la manera más efectiva de realizar la estimación era usando alguna plataforma de cómputo en la nube. Estas herramientas permiten realizar estimaciones de costes de uso en relación a la carga computacional que se exigirá. Entre estas aplicaciones se encuentran la plataforma de Google, Google Cloud Platform [20], la Microsoft Azure [21] o Amazon Web Services [22].

Para poder realizar la estimación usando estas herramientas, se deberá establecer las equivalencias que hay entre la configuración descrita anteriormente, y los parámetros de configuración que utilizan estas plataformas. Los principales componentes a estimar son:

- Servicios app
- Máquinas de computación
- Máquinas SQL
- Almacenamiento en la nube

En la Figura 3 se aprecia una visualización simplificada de la equivalencia entre los componentes de una plataforma de cómputo en la nube y el esquema del sistema mostrado anteriormente.

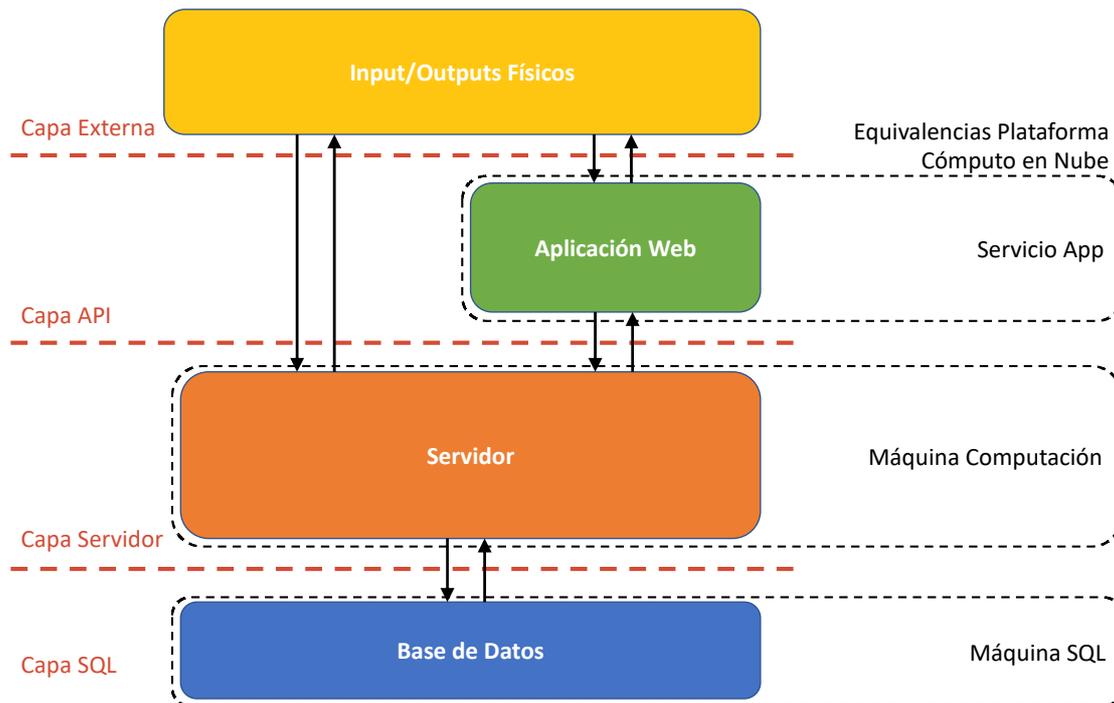


Figura 3: Esquema Equivalencias entre Sistema y Plataforma en nube

### Servicios app

Este componente hace referencia a máquinas computacionales enfocadas para su uso como interfaces de aplicaciones. En nuestro modelo, equivale a las tareas ejecutadas principalmente por una aplicación web. Las configuraciones principales son:

- Instancias: el número de máquinas que trabajarán en paralelo para abastecer al sistema sin caídas.
- Memoria de cada instancia.

Para nuestro sistema, la aplicación web tendrá que soportar una capacidad media de memoria e instancias, dado que el gran volumen de computación se centraliza en el servidor del sistema, el siguiente componente a definir.

### Máquinas de computación

También llamadas máquinas virtuales, hacen referencia a los equipos de procesamiento que estarán trabajando en paralelo para soportar el sistema. Es posible configurar el sistema para que trabaje tanto con pocas máquinas en paralelo con una gran potencia individual, como

que varias máquinas menos potentes trabajen en conjunto. Por cuestiones de seguridad en caso de saturación del sistema, se estimará un uso de más instancias en paralelo, cada una con una capacidad menor, para poder dar soporte al sistema sin peligro de caída por saturación.

Como equivalencia con la configuración definida anteriormente, las máquinas de computación se encargarán de ejecutar las tareas principales del servidor. Las configuraciones principales son:

- Instancias: el número de máquinas que trabajarán en paralelo para abastecer al sistema sin caídas.
- Número de núcleos en paralelo.
- Memoria
- Almacenamiento.

### **Máquinas SQL**

Las máquinas SQL son máquinas enfocadas en comunicarse con la base de datos. Trabajan de manera más eficiente para ciertas tareas concretas que una máquina de computación normal. En nuestro sistema, se encargarán de ejecutar las tareas de lectura o escritura en la base de datos. Las configuraciones principales son:

- Instancias: el número de máquinas que trabajarán en paralelo para abastecer al sistema sin caídas.
- Clase de la instancia: el tamaño de la instancia, dependiendo del trabajo para el que está enfocado (“micro”, “small” o “large”).
- Almacenamiento.
- Almacenamiento de backup (si hiciera falta).

### **Almacenamiento no estructurado**

Finalmente, las herramientas descritas permiten estimar el coste de almacenar en la nube la información no estructurada del sistema. Esta configuración estima costes en base a:

- Localización geográfica del almacenamiento: si la información se requiere duplicar en varias regiones o no
- Número de operaciones: cuantas veces se va a leer o a escribir información en la base de datos

- Tipo de objetos almacenados: si se va a almacenar objetos más o menos complejos o pesados

En el caso concreto que se trata, el almacenamiento no estructurado es una parte muy residual del sistema. La información a utilizar por el sistema se almacenará y gestionará por las máquinas SQL. En un sistema modelado algo mayor que el de este estudio, seguramente sería necesario volcar periódicamente la información de la base de datos a un almacenamiento no estructurado. Sin embargo, para la estimación de costes que se realiza aquí, no se ha considerado el almacenamiento fuera de la base de datos de la información.

### **3.6. Requerimientos del sistema blockchain**

Tras haber realizado la estimación del coste operativo de la parte centralizada, se procede a definir los componentes con los que se realizará la estimación de la parte blockchain. Lo primero que se ha de definir es qué elementos se van a gestionar de manera centralizada y cuáles en un servidor centralizado.

En teoría, todo el sistema se debería poder incorporar a una red blockchain. Sin embargo, en la práctica no es realizable. Una red blockchain es una red de información replicada en todos (o la mayoría) de nodos. Por lo tanto, usarla como simple base de datos resulta ineficiente, puesto que simplemente se está clonando múltiples veces información sin valor. La mayoría de las redes blockchain populares están diseñadas de tal forma que desfavorecen el uso de la red como herramienta de almacenamiento. Como ejemplo, en la red Ethereum, el coste estimado de almacenar 1 MB de datos en la cadena de bloques es de aproximadamente \$5.700 [23]. No sólo es el coste monetario, sino también computacional. Los bloques de Ethereum limitan la cantidad de datos que puede almacenar a tal punto, que para ese 1 MB de información, se necesitarían 132 bloques para almacenarla [23]. La razón es que cuanto más peso tenga la cadena de bloques, más lenta será la ejecución del resto de contratos inteligentes en la cadena, perjudicando a todos los usuarios.

El modelo que se plantea, por lo tanto, requerirá la definición de una parte centralizada, que permita la gestión de la información menos adecuada para la red blockchain de forma eficiente. Y, posteriormente, que esta parte del equipo tenga la capacidad de comunicarse con la blockchain para que en ella se ejecuten las tareas sí aporta un valor diferencial.

Una red blockchain tiene como objetivo principal eliminar la necesidad de un intermediario en aquellas tareas que requieran de verificación para aceptarse. En el caso de nuestro modelo, las operaciones que requieren una validación son:

- La creación y aceptación de los acuerdos entre usuarios
- El cumplimiento de dichos acuerdos (comprobación de transacción energética y posterior pago)

Se han ideado 2 propuestas para poder gestionar estas operaciones. La primera es una adaptación más conservadora, donde el servidor central sigue ejecutando la mayoría de las tareas computacionales y la blockchain se encargue de ejecutar los pagos una vez cumplidos los acuerdos. Este modelo podría servir de transición para sistemas que deseen pasarse a blockchain de manera gradual. La segunda propuesta es algo más completa, y pretende poder ejecutar tanto la creación como la aceptación de acuerdos y los sucesivos pagos completamente en blockchain. Este modelo cuenta con una estructura más integrada en la parte descentralizada, y refleja mejor cómo podría acabar funcionando un sistema como el de este estudio en el futuro.

En primer lugar se evaluará la propuesta más conservadora, el modelo de blockchain parcial. En el siguiente esquema se plasma la estructura de este equipo.

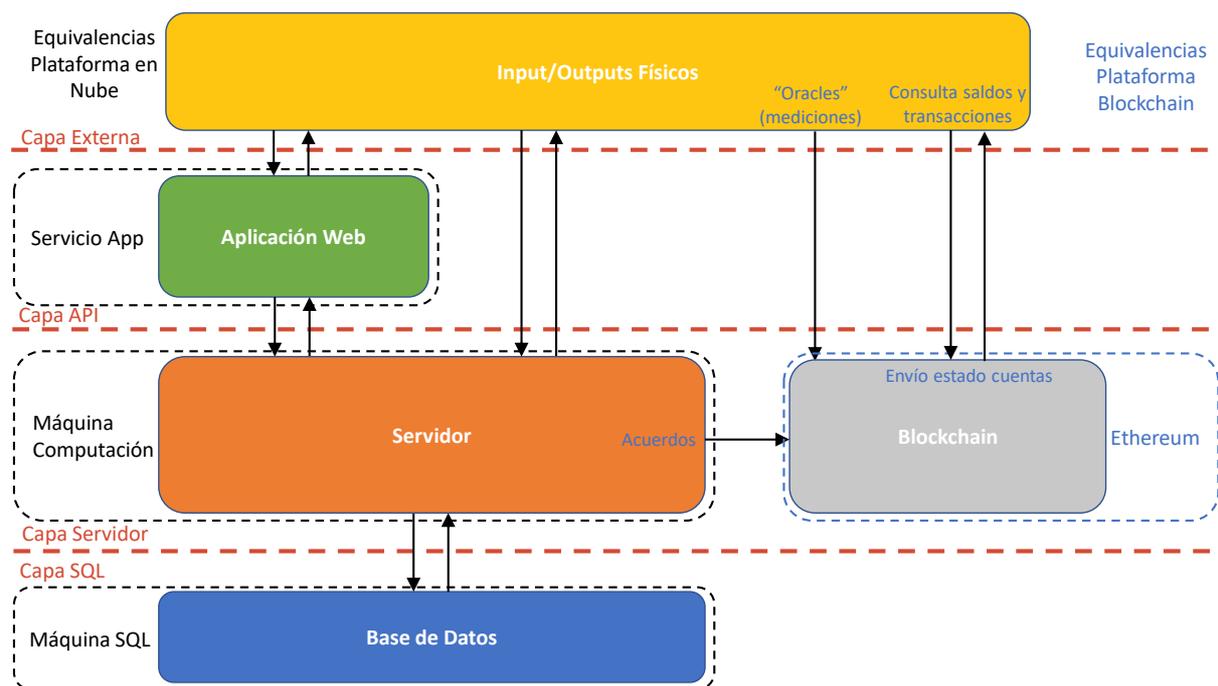


Figura 4: Esquema Estructura Sistema Blockchain Parcial

Como se observa en el esquema, la parte centralizada deberá dimensionarse para soportar el resto de gestiones, y habrá una comunicación entre el servidor centralizado y la red blockchain para que se creen los acuerdos entre usuarios. Se pueden destacar tres componentes principales en la parte descentralizada:

- “Oracles” entre la capa externa y la red
- Generación y ejecución de acuerdos
- Registro de transacciones asociadas a los acuerdos

## **Oracles**

La red blockchain tendrá interacción con la capa externa a través de “oracles”, u oráculos. Los oráculos son interfaces que permiten a la blockchain recibir información de la capa externa para la ejecución de programas [24, p. 188]. Estos estímulos, al cumplir una condición fijada previamente en el código de la cadena de bloques, desencadenan la ejecución de otra parte del código. La idea de los oráculos es que cumplan con la filosofía básica de blockchain: no requieran de la confianza ni la influencia de ningún miembro. Puesto que el envío de la información a la blockchain es automático, no requiere de una tercera persona que controle la veracidad de los envíos del oráculo. Una característica muy interesante respecto a los oráculos de cara a estimar costes operativos es que éstos se pueden diseñar tanto con interfaz “pull” como “push” [25]. Interfaz “push” implica que los oráculos se encargarán de alertar de manera activa a la blockchain de que la condición que necesitaba el contrato para ejecutarse se ha cumplido. De esta manera, el contrato no necesitará realizar llamadas periódicas al exterior preguntando si se ha cumplido la condición, y en cambio, esperará que la llamada venga del exterior. El hecho de que los propios medidores sean los que activamente envíen los estímulos requerirá que éstos estén dimensionados con una potencia de computación suficiente para comunicarse con Ethereum.

Es importante comentar que los oráculos no son nodos de una plataforma blockchain. Un nodo validador de una red blockchain requiere de una alta capacidad de procesamiento y almacenamiento, para poder validar transacciones de la red, y almacenar una copia de la cadena de bloques. Un oráculo no requerirá de estos componentes, al ser un elemento que solamente se comunica con la blockchain a través de una interfaz y le aporta información [26]. Por lo tanto, los costes de instalación de los oráculos en los medidores inteligentes de la red eléctrica no deberían ser un factor crítico en la comparación de modelos.

### **Contratos inteligentes**

El sistema planteado requiere de la creación de acuerdos entre usuarios que, una vez cumplidos, ejecuten una transacción del usuario productor y consumidor. En blockchain, a estos acuerdos se les llama “smart contracts”, o contratos inteligentes. Un contrato inteligente es un programa descentralizado que genera una transacción basado en una condición [24, p. 167]. El contrato lo crean 2 o más usuarios, que en conjunto deciden ingresar una cantidad de dinero al contrato. El contrato se encuentra de forma de código informático. Cuando se den las condiciones para que el código se ejecute, el dinero ingresado en el acuerdo se trasladará de la cuenta de un usuario al del otro. Este comportamiento es el que se pretende replicar en el modelo.

### **Registro de transacciones**

El sistema planteado se encargará también del registro de las transacciones asociadas a contratos inteligentes. Una red blockchain está diseñada para poder mantener un registro del historial de pagos de un usuario, al vincular cada transacción realizada en el sistema al usuario receptor y al emisor. Todo el historial de transacciones realizadas en la red se guarda en la cadena de bloques. Los usuarios podrán después comprobar el saldo de sus cuentas y obtener el histórico de todas sus transacciones.

A continuación se analizará la segunda propuesta, el modelo blockchain más completo. El esquema de funcionamiento se plasma en el siguiente esquema:

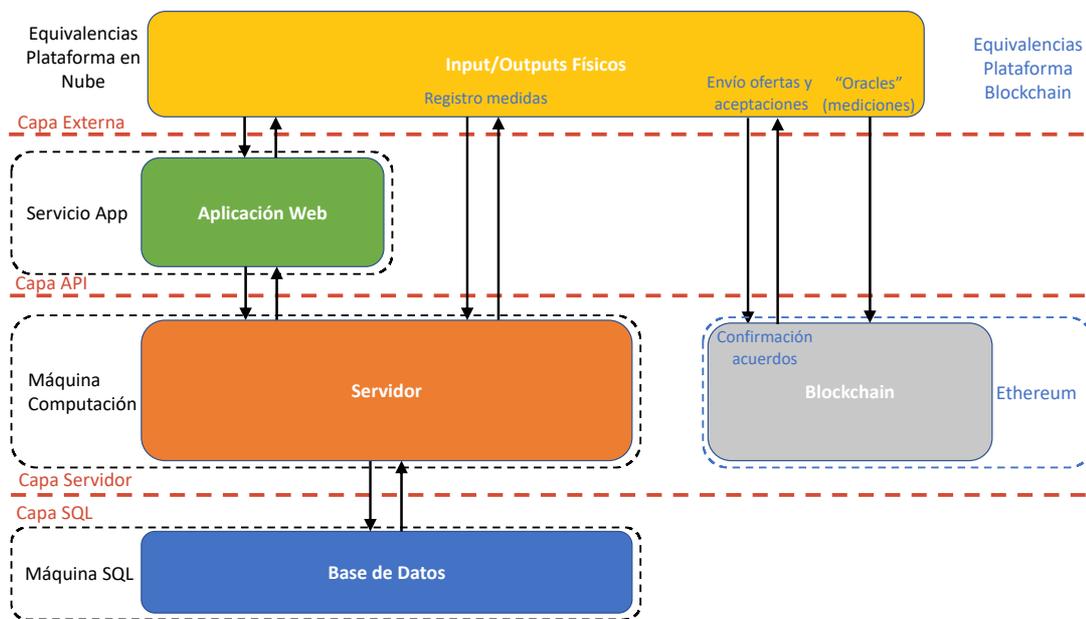


Figura 5: Esquema Estructura Sistema Blockchain Completo

La estructura es similar, y la parte blockchain cuenta con los mismos componentes descritos anteriormente: “oracles”, contratos inteligentes y registro de transacciones. Sin embargo, la lógica ejecutada en los contratos inteligentes será más compleja. En este sistema, los usuarios publicarán las ofertas directamente en blockchain, mediante la creación de un contrato inteligente. La siguiente figura plasma el funcionamiento.

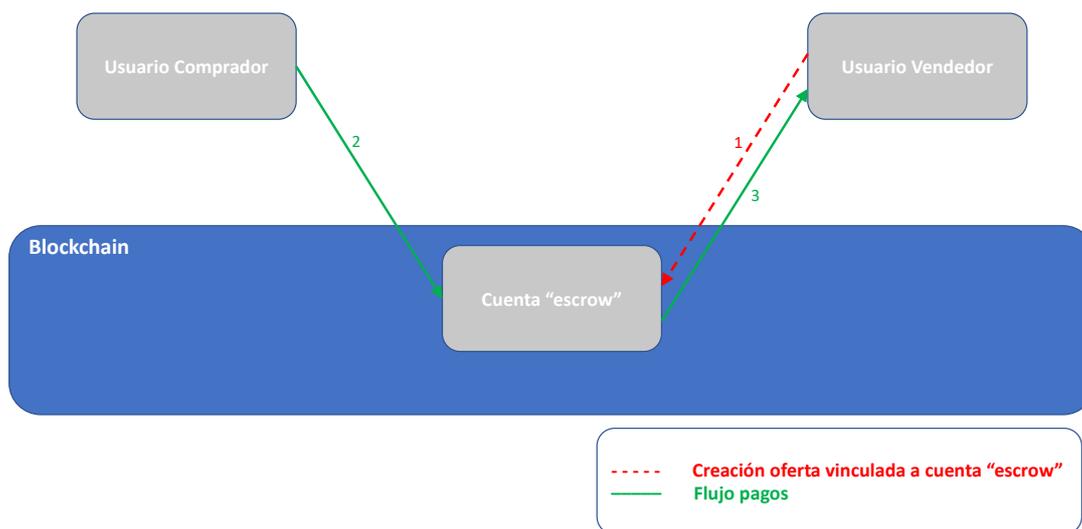


Figura 6: Flujo creación acuerdos en Blockchain

El flujo del contrato tiene 3 fases. La primera fase corresponderá con la creación del contrato inteligente, que está vinculado a una cuenta “escrow”. Una cuenta “escrow” es una cuenta intermediaria, que no pertenece ni al comprador ni al vendedor, y actúa de depósito temporal hasta que se cumplan las condiciones fijadas en el contrato inteligente, cuando el dinero se traspa de la cuenta “escrow” a la del vendedor. En caso de que no se cumplan las condiciones en el plazo establecido, el dinero podrá volver automáticamente a la cuenta del comprador. En entornos blockchain, estas cuentas son muy útiles para ambas partes del acuerdo. El vendedor se asegura el cobrar automáticamente cuando cumpla su parte del acuerdo, y el comprador se asegura que en caso de que no se cumpla el acuerdo, su dinero volverá automáticamente.

El usuario vendedor publicará la oferta informando de las condiciones del acuerdo, e indicando la dirección de la cuenta “escrow”. En la segunda fase, el usuario comprador aceptará la oferta depositando la cantidad acordada en esa cuenta. De esta forma se completa la creación del acuerdo energético. Cabe destacar que el uso de una red blockchain es idóneo para la gestión de posibles conflictos respecto a aceptaciones de la misma oferta por parte de varios usuarios. Si se diera el caso, al existir una única cadena de bloques común a toda la red, acabaría predominando una única versión del acuerdo, que será el que toda la red tomará como verdadera.

La fase final del flujo será la ejecución del acuerdo. Una vez se ha creado el acuerdo y depositado el pago en la cuenta “escrow”, el funcionamiento del sistema será idéntico al modelo parcial, donde se hará uso de los oráculos para desencadenar el pago desde la cuenta “escrow” a la cuenta del vendedor.

En ambos modelos evaluados, el uso de oráculos para la interacción entre la red blockchain y la capa externa, la necesidad de creación de contratos inteligentes, y la vinculación entre estos contratos a una serie de transacciones serán los elementos básicos sobre los que dimensionar la plataforma blockchain. El uso de contratos inteligentes reduce el abanico de opciones a utilizar. Se deberá escoger una plataforma que sea Turing completa. Esto significa que la red blockchain es capaz de ejecutar cualquier código programado. Bitcoin, por ejemplo, no permite incluir contratos inteligentes en su cadena de bloques [4, p. 127]. El uso de oráculos acota aún más las opciones. Se desea usar una red que tenga una capa de interacción externa lo más abierta posible, para que los oráculos no requieran de desarrollo extra para poder comunicarse con la interfaz de la blockchain. Ambos requisitos llevan a la conclusión de que la blockchain ideal a usar para el modelaje es Ethereum. Ethereum es una blockchain Turing

completa [4, p. 232], y su plataforma está diseñada para el uso de oráculos [24, p. 188]. Es, además, la red pública más popular para el uso de aplicaciones descentralizadas, como se analiza en el siguiente artículo citado [27]. Por todo esto, se decide utilizar la plataforma Ethereum para el modelaje de la arquitectura blockchain. Para poder simplificar la instalación inicial de la plataforma y aportar mayor comodidad al usuario, los pagos se gestionarán mediante con el token nativo de Ethereum, el Ether.

Tras detallar tanto el modelo de blockchain parcial como el más completo, se debe elegir cual será el más adecuado para usar en el estudio económico. Puesto que el objetivo principal de este trabajo era estudiar la capacidad de implementación en blockchain de sistemas “Low Voltage Distribution Loop”, resulta más adecuado usar como modelo la versión más completa. Así se obtendrá una estimación más realista de los costes operativos que tendría el equipo. Por lo tanto, se usará el modelo blockchain más completo para la comparativa económica.

### **3.7. Definición de componentes sistema blockchain**

Una vez establecida la plataforma a utilizar, se deberán definir los componentes que se tendrán que fijar para realizar los cálculos. Se debe tener en cuenta que, para el modelaje descentralizado, seguirá siendo necesario el dimensionamiento de una parte centralizada, que se ocupará de gestionar las tareas que no recaigan en la red blockchain. Se deberían poder usar los mismos elementos estructurales para estas tareas tanto en la arquitectura centralizada como en la descentralizada. A esos valores se le añadirán los costes vinculados a la parte de Ethereum.

#### **Parte Centralizada**

La parte centralizada contará con los mismos elementos estructurales que en el sistema centralizado completo. Sin embargo, el número de tareas que ejecutarán será menor, pues parte las absorberá el lado de blockchain. Concretamente, el sistema blockchain absorberá lo siguiente:

- Aplicación Web
  - o Visualizar los pagos hechos y por hacer de los usuarios: este concepto lo soporta la red blockchain sin coste extra.
- Servidor
  - o Generación de acuerdos.
  - o Comprobación del cumplimiento de los acuerdos energéticos.
  - o Registro de pagos tras cumplimiento de los acuerdos.
  - o Cálculo de liquidaciones finales a saldar por cada usuario: este elemento no será necesario dimensionarlo en el sistema descentralizado. La tecnología blockchain permite gestionar los pagos de manera automática con los oráculos, sin necesidad de ocupar almacenamiento ni memoria.
- Base de datos
  - o Registro de acuerdos.
  - o Listado completo de pagos y cobros de cada usuario: de nuevo, este elemento viene de serie en el sistema blockchain, sin necesidad de dimensionarlo.

Los elementos no destacados anteriormente deberán dimensionarse de igual manera que en el modelaje centralizado.

### **Parte Descentralizada**

Los componentes que se dimensionarán para la parte descentralizada serán aquellos que se han quitado de la parte centralizada. La tecnología blockchain permite, además, la eliminación de algunos procesos que sí que se debían dimensionar en la parte centralizada. Procesos como la gestión de las liquidaciones de los pagos, la visualización de los pagos por parte de los usuarios o la generación de los listados de pagos y cobros de cada usuario.

Para poder dimensionar los costes de la parte blockchain, será necesario definir el tipo de operaciones que se van a ejecutar en el código de la plataforma, y el número de veces que se ejecutarán esas operaciones. La manera en la que se gestionan programas en la red Ethereum se basa en el concepto de Gas. El Gas en la red Ethereum representa un depósito. Cada contrato añadido a la cadena de bloques tendrá asociado un depósito con una cantidad de dinero, llamado Gas, con el que se pagará el coste de ejecución del contrato al minero que valida el bloque que

contiene el contrato. Cada vez que se realice una operación sobre ese contrato (creación de nuevos acuerdos, ejecución de pagos), se retirarán unidades de Gas del depósito [24, p. 206].

La red Ethereum tiene establecido un coste de Gas asociado a cada tipo de operación que soporta. Estas operaciones se denominan OPCODES. En el Anexo 2 se puede observar el coste en Gas asociado a diversos OPCODES, obtenido del “Yellow Paper” de Ethereum [28].

Como se ha establecido anteriormente, los componentes que requerirán dimensionarse serán:

- La creación de las ofertas y acuerdos entre usuarios ofertantes y consumidores
- Comprobación del cumplimiento de los acuerdos energéticos
- Ejecución de transacción tras cumplimiento de los acuerdos

### **Creación de acuerdos**

La creación de un acuerdo nuevo implica la creación de un nuevo contrato inteligente que vincule: la cuenta del usuario generador, la del usuario consumidor, la cantidad de tokens de Ether a transferir entre ambos y la condición de ejecución: que el oráculo envíe la confirmación de cumplimiento de la transferencia energética acordada. La operación asociada a ésta tiene el código OPCODE “CREATE”, y tiene un coste asociado de 32.000 Gas por llamada [23].

### **Ejecución de transacciones**

Como se ha mencionado, los oráculos utilizados tendrán una interfaz “push”, con lo cual la comprobación del cumplimiento del acuerdo no requerirá de costes de Gas. La ejecución del pago, sin embargo, sí tendrá un coste asociado. En este caso, de 21.000 Gas por llamada [23].

## **4. ESTUDIO ECONÓMICO**

### **4.1. Introducción**

Una vez se ha definido concretamente tanto la arquitectura que tendrá el equipo eléctrico, además de los modelos centralizado y blockchain, se procede a cuantificar el coste operativo que tendrá cada modelo, realizando así el estudio económico del trabajo. En él, primero se detallará la metodología utilizada en cada caso para realizar la estimación. Tras explicar la metodología, se procederá a transformar los parámetros establecidos en costes operativos.

### **4.2. Metodología estimación costes sistema centralizado**

Una vez se han establecido los componentes para los que se deberán estimar los costes de operación, se procede a dimensionar esos componentes. Se debe aclarar que las estimaciones serán unos requerimientos mínimos que deberá soportar el sistema para funcionar. Dicho esto, se establecerán unos márgenes de seguridad que permitan 2 cosas. La primera, que el modelo pueda funcionar en situaciones de demanda alta. Aunque se dimensione para un uso medio de la plataforma, ésta deberá estar adaptada a unas demandas pico del servidor y la base de datos. La segunda, que el modelo esté adaptado para un crecimiento de la red. Dado que la cantidad actual de 3 usuarios es muy reducida, se deberá proponer un modelo que permita el correcto funcionamiento si la red comenzara a incluir más usuarios.

#### **Valores Genéricos Del Equipo**

Dicho esto, se deben establecer unos valores genéricos de la red con los que se trabajará la estimación de costes. Estos valores son:

- El número de usuarios y lectores estimados para la red: 10 usuarios y 10 lectores.
- El número de ofertas y acuerdos que cada usuario ejecutará para cada franja horaria: 4 ofertas y 2 acuerdos.
- Se asumirá una tasa de simultaneidad de 5.
- Se estima una creación media de: 10 acuerdos por hora en la red.
- El plazo de tiempo de almacenamiento en la base de datos: 1 año = 8.760 horas.

Para poder realizar una estimación del volumen de tráfico y generación de ofertas, primero se debe dimensionar en primer lugar la capacidad energética que cada usuario podrá ofertar. La capacidad de generación de los paneles solares utilizados en el sistema escogido es de 10 kW, y 65 m<sup>2</sup> de superficie [18, p. 97]. Usando valores de radiación solar en la ubicación de la comunidad, Valencia, se estima una radiación media diaria sobre los paneles de 7,5 kWh/m<sup>2</sup> [29]. Para la superficie del panel, y un rendimiento estimado del 20%, se obtiene una generación media diaria de 97,5 kWh. Aquí se tiene en cuenta tanto picos de generación en horas de mayor exposición solar, como horas sin generación y el rendimiento del panel. Con un promedio de 97,5 kWh al día, se puede estimar una generación por hora de 4 kWh de media. Tras definir la generación horaria media por usuario, se establecerá la resolución energética del sistema. Ésta será la cantidad mínima de energía que un usuario podrá ofertar. La resolución se fijará en 1 kWh. Por lo tanto, se estima que cada usuario generará 4 ofertas de energía para cada franja horaria, cada una como mínimo de 1 kWh.

Seguidamente, a fin de dimensionar el ancho de banda que deberá soportar el sistema, se hace una suposición respecto a la tasa de simultaneidad del uso de la plataforma. Como máximo, la red tendrá a los 10 usuarios conectados a la vez. El sistema se dimensionará asumiendo que la mitad de los usuarios se llegan a conectar a la vez, es decir 5 usuarios conectados simultáneamente.

Por lo tanto, en cada franja horaria se generarán 4 paquetes por usuario. Se supone que no todas las ofertas serán aceptadas. Por ello, se usará un factor de 50%, para estimar que sólo la mitad de las ofertas se aceptarán. Es decir, 2 ofertas aceptadas por usuario o 20 acuerdos en total cada franja horaria.

Por último, se define que la base de datos almacenará toda la información de la red durante el plazo de 1 año. Una vez pasado el año, como se ha comentado en la sección de almacenamiento no estructurado, se podrá volcar la información de la base de datos a otra plataforma, y resetear la base. Este valor se utilizará para la estimación de almacenamiento de la máquina SQL.

## **Definición De Número De Instancias**

Tras aclarar los valores genéricos de la red, se tiene que establecer otro parámetro esencial a la hora de estimar costes operativos de un sistema informático: el número de instancias de dicho sistema. Como se ha comentado anteriormente, el principal factor a la hora de estimar los costes de una plataforma de computo en la nube son las instancias. El número de máquinas en paralelo que tendrá el sistema para soportar posibles picos de demanda, puesto que implica un aumento de costes operativos. Las instancias serán básicas para estimar los costes de los servicios app, de las máquinas de cómputos y de las máquinas SQL. Como también se ha comentado anteriormente, por cuestiones de seguridad, dado que el sistema se enfoca en la gestión de un bien vital como es la energía, se diseñará siempre pensando en tener suficientes instancias activas para que no se sature si hay un gran aumento de demanda.

Por ello, se establece que, tanto para el equipo de servicios app, como para la máquina de cómputos, como para la máquina SQL, el sistema contará con 2 instancias en funcionamiento. Una instancia se estimó como suficiente para la gestión de una red tan pequeña. Pero con vistas a posibles aumentos de la red a futuro, y con el factor de seguridad comentado antes, se decidió dimensionar una segunda instancia de reserva para cada componente del sistema.

## **Valores Estimados De Peso Computacional Por Operación**

Antes de poder estimar los parámetros del sistema, será necesario establecer el peso computacional que tendrán las diversas operaciones a realizar en el sistema. La información que cada objeto contiene será bastante reducida. En primer lugar, la lectura del medidor. Ésta deberá contener:

- Timestamp: 8 bytes.
- Medida (float): 4 bytes.
- ID único del contador: 4 bytes.
- ID variable: 1 byte (indicador de energía entrante o saliente).

Se tiene un total de 17 bytes para la medida de energía que entra por el medidor y otros tantos la que sale. Dando un total de 34 bytes por medida.

Para las ofertas publicadas, se incluirá la siguiente información: timestamp, franja horaria ofertada, ID usuario generador, precio e información relevante sobre la energía, como la fuente. Para poder dar margen a que con el tiempo la información relevante pueda ser más completa, se sobredimensionará el tamaño a 1 kB por oferta.

Para la información del acuerdo, al contenido de la oferta se añadirá el ID del usuario consumidor. De nuevo, se dimensionará a 1 kB.

La estimación del precio por parte del algoritmo externo contendrá:

- Timestamp de hora en la que se hizo la predicción: 8 bytes.
- Timestamp de hora para la que se calcula predicción: 8 bytes.
- Precio (float): 4 bytes.

Se obtiene un total de 20 bytes.

Tabla 3: Estimación Peso Computacional Unitario de Operaciones

<b>Operación</b>	<b>Peso Computación</b>
Información lectura medidor	34 bytes
Información oferta	1 kB
Información acuerdo	1 kB
Información estimación precio algoritmo	20 bytes

A continuación, se desglosan los parámetros asociados a cada componente del sistema con los que se dimensionará el sistema centralizado.

### Servicios app

Tabla 4: Componentes y Peso Computacional de Servicios App

<b>Componente a dimensionar</b>	<b>Valor estimado</b>	<b>Peso Memoria</b>
Plataforma de creación y visualización de ofertas	4 ofertas publicadas por usuario por hora	$10 * 4 * 1\text{kB} = 40 \text{ kB}$
Plataforma de visualización de estado de medidores	Actualización cada hora del medidor	$10 * 34 \text{ B} = 340 \text{ B}$
Plataforma de visualización de pagos	Actualización de los pagos cada hora	$20 \text{ acuerdos} * 1\text{kB} = 20 \text{ kB}$

Como resumen de los requisitos mínimos del equipo, se simplifica en la siguiente tabla los valores de memoria y almacenamiento que deberá tener el servicio app cada hora.

Tabla 5: Resumen Parámetros Servicios App

<b>Memoria total</b>	$40 \text{ kB} + 340 \text{ B} + 20 \text{ kB} = \mathbf{60,34 \text{ kB}}$
<b>Almacenamiento total</b>	<b>0 MB</b>

### Máquinas de computación

Tabla 6: Componentes y Peso Computacional de Máquinas Computación

<b>Componente a dimensionar</b>	<b>Valor estimado</b>	<b>Peso Memoria</b>
Procesamiento de las mediciones de lectores inteligentes	Lectura de 10 lectores cada hora	$10 * 34 \text{ B} = 340 \text{ B}$
Procesamiento de la estimación de precios óptimos	1 medida cada hora	20 B
Lectura y difusión de las ofertas creadas	4 ofertas asumiendo tasa simultaneidad de 5	$5 * 4 * 1\text{kB} = 20 \text{ kB}$
Procesamiento de las aceptaciones de las ofertas	4 aceptaciones asumiendo tasa simultaneidad de 5	$5 * 4 * 1\text{kB} = 20 \text{ kB}$
Comprobación del cumplimiento de los acuerdos energéticos	20 acuerdos a comprobar	$20 * 1\text{kB} = 20 \text{ kB}$
Cálculos de liquidaciones finales a saldar por cada usuario	20 acuerdos a liquidar	$20 * 1\text{kB} = 20 \text{ kB}$

Simplificado en la siguiente tabla el resumen de los valores estimados para las máquinas de computación.

Tabla 7: Resumen Parámetros Máquinas Computación

<b>Memoria total</b>	$340 \text{ B} + 20 \text{ B} + 20 \text{ kB} + 20 \text{ kB} + 20 \text{ kB} + 20 \text{ kB} = \mathbf{80,36 \text{ kB}}$
<b>Almacenamiento total</b>	<b>0 MB</b>

## Máquinas SQL

Tabla 8: Componentes y Peso Computacional de Máquinas SQL

Componente a dimensionar	Valor estimado	Peso Almacenamiento
Registro de las mediciones de cada lector para cada franja horaria	Escritura de 10 lectores cada hora	$10 * 34 \text{ B/h} * 8.760 \text{ h} = 2,98 \text{ MB / año}$
Registro de todas las ofertas creadas	4 ofertas de cada usuario cada franja horaria	$10 * 4 * 1\text{kB/h} * 8.760 \text{ h} = 350,4 \text{ MB / año}$
Registro de acuerdos	20 acuerdos por franja horaria	$20 * 1\text{kB/h} * 8.760 \text{ h} = 175,2 \text{ MB / año}$
Registro de pagos	Bit de confirmación de pago	$20 * 1\text{B/h} * 8.760 \text{ h} = 175,2 \text{ kB / año}$
Registro de las estimaciones de precios óptimos del algoritmo externo	1 estimación por hora	$20 \text{ B} * 8.760 \text{ h} = 175,2 \text{ kB / año}$

Tabla 9: Resumen Parámetros Máquinas SQL

<b>Memoria total</b>	<b>0 MB</b>
<b>Almacenamiento total</b>	$2,98 \text{ MB} + 350,4 \text{ MB} + 175,2 \text{ MB} + 175,2 \text{ kB} + 175,2 \text{ kB} = \mathbf{528,93 \text{ MB}}$

## Herramientas Utilizadas

Para poder hacer una estimación de costes lo más justa posible, se ha decidido utilizar 3 calculadoras de costes para aplicaciones en nube distintas, y calcular la media de los costes estimados de cada una. Para todos los cálculos, se hizo uso de la región más próxima a la

localización física del sistema, Valencia. En el caso de Google Cloud Platform, correspondía a Bélgica (Europe-West1). Para Amazon Web Services, se utilizó París (EU Paris). Finalmente, en Microsoft Azure, la región utilizada fue Europa Occidental. En todos los casos, se estimó el uso de 2 instancias en paralelo. Dado que la aplicación Web tiene un uso tan reducido de memoria y de almacenamiento, se establece que no será necesario estimar sus costes operativos. Las máquinas de computación y SQL se encargarán de gestionar el flujo de datos y el almacenamiento.

### **Máquinas de computación**

Se continua con la estimación de las máquinas de computación. En Google Cloud Platform se configura en “Compute Engine”. Para Microsoft Azure, se usa “Virtual Machine”. Amazon Web Services lo denomina “Amazon EC2”. En esta ocasión, los parámetros de configuración serán: el número de instancias, el número de núcleos, la memoria y el almacenamiento. El número de núcleos sólo tendrá que ser de 1, dado que ya contamos con 2 instancias en paralelo, y el equipo está dimensionado de sobra en memoria y espacio. De cara a los valores escogidos para memoria, se ha tomado el valor mínimo ofertado en cada calculadora: 1,7 GB para Google y Microsoft, y 2 GB para Amazon. Los valores de las estimaciones a calcular son los siguientes:

Tabla 10: Valores para Cálculo Máquinas Computación

Número instancias	2
Número de núcleos	1 (compartidos)
Memoria	1,7 – 2 GB
Almacenamiento	0 GB

Con esta configuración, se obtuvieron los siguientes costes mensuales de máquinas de computación.

Tabla 11: Resumen Costes Máquinas Computación

<b>Google Cloud Platform</b>	<b>Microsoft Azure</b>	<b>Amazon Web Services</b>
25,65 €	33,24 €	34,47 €

## Máquinas SQL

Finalmente se pasa a estimar las máquinas SQL. En Google Cloud Platform se configura en “Cloud SQL”, mientras que, en Microsoft Azure, se hace en “Azure SQL Database”. Amazon Web Services lo nombra “Amazon RDS”. De nuevo, se tomó como valor el mínimo en común que permitían las tres herramientas: 20 GB de almacenamiento. Las instancias se dimensionaron como micro, puesto que apenas requiere de memoria este componente del equipo. Las configuraciones son las siguientes:

Tabla 12: Valores para Cálculo Máquinas SQL

Número instancias	2
Clase de las instancias	Micro
Almacenamiento	20 GB
Almacenamiento de backup	0 GB

Con esta configuración, se obtuvieron los siguientes costes mensuales de máquinas de computación.

Tabla 13: Resumen Costes Máquinas SQL

<b>Google Cloud Platform</b>	<b>Microsoft Azure</b>	<b>Amazon Web Services</b>
19,49 €	8,26 €	14,78 €

## Valores Totales

Finalmente, se unifican los costes de los 3 componentes para cada plataforma. El servicio de Microsoft ofrece los valores más económicos, de 41,50 € al mes, mientras que Google y Amazon lo ofrecen por 45,14 € y 49,25 €. Como promedio anual, el coste operativo del sistema centralizado es de 543,60 € anuales.

Tabla 14: Resumen Costes Totales Sistema Centralizado

	<b>Google Cloud Platform</b>	<b>Microsoft Azure</b>	<b>Amazon Web Services</b>	<b>Promedio</b>
<b>Mes</b>	45,14 €	41,50 €	49,25 €	<b>45,30 €</b>
<b>Año</b>	541,68 €	498 €	591 €	<b>543,60 €</b>

### 4.3. Metodología estimación costes sistema blockchain

Tras la estimación de los costes de la parte centralizada, se procede a describir la metodología que se utilizará en el modelaje blockchain. Como se ha mencionado, parte del coste del sistema se compartirá con el modelo centralizado.

#### Parte Centralizada

En primer lugar, se evaluarán los componentes que se deben descontar del dimensionamiento de la sección centralizada.

#### Máquinas de computación

- Comprobación del cumplimiento de los acuerdos energéticos = 20 kB.
- Cálculos de liquidaciones finales a saldar por cada usuario = 20 kB.

En el cómputo total, el ahorro en memoria para la parte del servidor es de un 50%, al pasar de 80,36 kB a 40,36 kB. Esto no representa un ahorro en los costes finales, dado que se sigue necesitando dimensionar la máquina al mismo tamaño que en el apartado anterior.

#### Máquinas SQL

- Registro de las ofertas = 350,4 MB / año.
- Registro de acuerdos = 175,2 MB / año.
- Registro pagos = 175,2 kB / año.

Para la parte de la base de datos, esto representa un gran ahorro, del 99%, al pasar de un almacenamiento anual de 528,93 MB a 3,15 MB. Sin embargo, al igual que en las máquinas

de computación, se sigue necesitando dimensionar al mismo tamaño que en el apartado anterior.

Por lo tanto, en el conjunto de ambas partes, no se reducen costes respecto al modelo 100% centralizado, y aún se debe contabilizar la parte blockchain del modelo. La media de los costes sigue siendo 543,60 € anuales.

Tabla 15: Valores para Cálculo Parte Centralizada en Modelo Blockchain

	<b>Google Cloud Platform</b>	<b>Microsoft Azure</b>	<b>Amazon Web Services</b>	<b>Promedio</b>
<b>Mes</b>	45,14 €	41,50 €	49,25 €	<b>45,30 €</b>
<b>Año</b>	541,68 €	498 €	591 €	<b>543,60 €</b>

### **Parte Descentralizada**

Para realizar la estimación de la parte descentralizada, se necesitará establecer el número estimado de operaciones que se ejecutarán de cada tipo de OPCODE, y multiplicarlo por su coste asociado a cada uno. Para la sección centralizada, se dimensionó la base de datos para un uso de 1 año, al cabo del cual se volcaría la información a un almacenamiento no estructurado. De igual manera, el número de operaciones a contabilizar para la parte blockchain también tomará como referencia 1 año de uso. Se tomará como referencia el precio medio de Gas de 138.000 Gas por euro. Esto toma como referencia el cambio EUR / ETH de 241,51 del día 10 de julio de 2019, y el cambio medio de 33.333.333 Gas / ETH [30].

### **Creación de acuerdos**

Cada creación de un acuerdo nuevo tendrá un consumo de 32.000 Gas. Al cambio establecido, el coste por creación de contrato será de: 0,23188 €.

Para el sistema se ha estimado anteriormente una creación de acuerdos de 20 por hora. Tomando el plazo de referencia de un año, esto implicaría un total de: 175.200 acuerdos generados. Por lo tanto, el gasto total asociado a la creación de acuerdos será de: 40.625,37 €.

### **Ejecución de transacciones**

Cada transacción realizada al completarse un acuerdo tendrá un consumo de 21.000 Gas. Se cuenta como una única transferencia aunque temporalmente se deposite en la cuenta

“escrow”, pues este deposito no cuesta Gas de más. Al cambio establecido, el coste por transacción será de: 0,15217 €.

Se contará con el mismo número de transacciones al año que de acuerdos, es decir: 175.200 transacciones ejecutadas. El gasto total asociado a la ejecución de transacciones resulta: 26.660,18 €.

En conjunto, por lo tanto, la parte descentralizada tendrá un coste anual de 67.285,55 €. Sumando los costes de la parte centralizada a ésta se obtienen los costes totales del sistema.

Tabla 16: Resumen Costes Totales Sistema Blockchain

Parte Centralizada	Parte Descentralizada	Total
543,60 €	67.285,55 €	<b>67.829,15 €</b>

#### 4.4. Evaluación de resultados

Como resultado de la comparativa de costes del estudio económico, se han obtenido los siguientes valores. El coste operativo anual para los dos sistemas comparados es:

- 543,60 € para la plataforma centralizada
- 67.829,15 € para la plataforma híbrida, parte centralizada, parte descentralizada

Es evidente que operar el sistema sobre una plataforma blockchain resulta bastante más costoso que sobre un sistema centralizado. En concreto, para la arquitectura testada, los costes operativos con Ethereum son 125 veces más elevados en comparación con la media de las 3 plataformas centralizadas analizadas. Es decir, entre 2 y 3 órdenes de magnitud más caro. Estos resultados, aunque abultados, no son sorprendentes. Se han realizado trabajos similares comparando costes operativos entre ambas arquitecturas. Como ejemplo, la comparativa que se realiza en el siguiente trabajo [31]. Aquí, los resultados finales muestran unos costes operativos en blockchain de 390 veces más caro que la plataforma Amazon SWF.

Para entender mejor la diferencia tan importante entre ambos sistemas, se debe analizar en profundidad cómo se han obtenido los costes para cada sistema. En el caso del sistema centralizado, los costes dependen principalmente del volumen y la complejidad de los procesos a ejecutar. En nuestro caso, ambas variables eran muy reducidas. Por un lado, el sistema estaba dimensionado para un número muy reducido de usuarios. El ancho de banda del procesador

necesario para abastecer a la comunidad era muy reducido. Además, la base de datos se diseñó de tal forma que redujera la renuncia de datos almacenados, aprovechando al máximo el espacio de almacenamiento. Se debe añadir que los equipos elegidos para la parte centralizada están capacitados para soportar una comunidad mucho mayor. Todos los elementos elegidos tenían capacidades muy por encima de las mínimas necesarias para cubrir con los requisitos definidos, sencillamente porque las calculadoras de las plataformas no permitían la elección de equipos menos potentes. Realizar el tipo de operaciones que se requerían en el sistema diseñado resulta muy barato para plataformas en la nube.

A diferencia del sistema centralizado, en el sistema blockchain, los costes operativos son directamente proporcionales al número de acuerdos que se generan en la red. Una vez se ha determinado el tipo de operación que necesita ejecutar el contrato inteligente, el coste resultará del número de veces que se llame al programa a ejecutarse. Esta metodología de costes resulta ineficiente para el sistema diseñado, como muestran los resultados. En gran parte, esta ineficiencia reside en que el coste de cada operación lo determina el precio medio de mercado de la divisa. Actualmente, el Ethereum cotiza a unos 240 € / ETH [30]. En comparación con mediados de 2016, cuando cotizaba en torno a 10 € / ETH, esto representa un aumento de 24 veces el coste operativo [30]. Las fluctuaciones del mercado bursátil afectan directamente a los costes operativos de la plataforma. A este factor se le une el hecho que las criptomonedas son frecuentemente utilizadas como herramienta de especulación en bolsa, lo que genera aún mayor volatilidad en el precio medio de las divisas. Sin que haya una división entre el precio de mercado de las divisas y el coste operativo de éstas, resulta complicado pensar en una implementación práctica de un sistema como el diseñado en una plataforma blockchain.

Además de una comparativa económica entre ambas plataformas, es importante realizar una comparativa cualitativa entre ambas propuestas. Blockchain, a pesar de ser más cara, tiene otras características que la hacen destacar sobre el sistema centralizado. En primer lugar, la inmutabilidad de su contenido. Esta es una de las ventajas principales de esta tecnología. En un entorno donde los datos son confidenciales, como lo es la industria energética, esto es un aspecto importante a valorar. Los usuarios tendrán mayor seguridad en que los datos de sus acuerdos energéticos no serán manipulados en el futuro. En segundo lugar, la ejecución de los pagos es inmediata y automática en el sistema blockchain. Gracias al uso de “oracles” con interfaz “push” y al diseño de los contratos inteligentes, la plataforma es capaz de gestionar automáticamente y de manera inmediata los pagos de los acuerdos una vez se ha enviado la confirmación de envío energético.

## 5. CONCLUSIONES

Este trabajo tenía como objetivo principal evaluar la utilidad operativa de la tecnología blockchain en el entorno de redes eléctricas del tipo “Low Voltage Distribution Loop”. Para ello, el estudio se descompuso en tres secciones que permitieran entender el contexto completo de la materia. En la primera sección, el estado del arte, se expuso una evaluación de las principales características que configuran una red blockchain. Además, se realizó una comparativa de diversas plataformas ya existentes, con el fin de evaluar cuáles podrían adaptarse mejor a las necesidades específicas de este proyecto. En el segundo apartado, se diseñó la arquitectura de un modelo de gestión de transacciones energéticas para el contexto tratado. Por un lado, una arquitectura centralizada, y por otro, una de tipo blockchain. Tras el diseño del modelo, se procedió a ejecutar la comparativa económica. En esta tercera y última sección del proyecto, se dimensionaron ambas arquitecturas, y se estimaron los costes operativos para cada sistema.

La primera sección del trabajo muestra que la tecnología blockchain es una industria que está aún en fase de desarrollo. A pesar de la evolución que ha sufrido en su corta vida, aparecen continuamente plataformas nuevas que mejoran distintas características respecto a sus predecesoras. Por lo tanto, su implementación a medio o largo plazo podría volverse obsoleta rápidamente. Por este motivo, de momento, parece apropiado esperar a la maduración de la industria antes de su uso práctico.

La segunda sección muestra que el modelo diseñado no es implementable al 100% en una red blockchain. Parte del sistema sigue teniendo que gestionarse de manera centralizada. Esto demuestra que la tecnología blockchain no es completamente adaptable al contexto investigado.

La tercera sección muestra que operar con la tecnología blockchain requiere de una inversión mucho mayor en comparación con su equivalente centralizado. Este resultado ya ha sido replicado en estudios anteriores [31]. El coste operativo de la red blockchain estudiada es directamente proporcional al precio medio de mercado de su divisa. Por lo tanto, su operación siempre estará vinculada a las fluctuaciones del mercado bursátil y la especulación con dicha divisa.

En definitiva, con las conclusiones obtenidas, se puede deducir que, por el momento, la implementación de la tecnología blockchain a sistemas “Low Voltage Distribution Loop” no tiene la utilidad operativa necesaria para su aplicación práctica.

## 6. FUTUROS DESARROLLOS

A continuación, se destacan aquellos aspectos en los que el proyecto podría continuar la investigación. Un posible siguiente paso al estudio económico sería el tratar de implementar en una plataforma blockchain real el caso modelado. Con un caso de uso práctico se podría testar, en primer lugar, la viabilidad operativa del sistema en una plataforma blockchain, y por otro lado, comprobar si los costes estimados se asemejan a la realidad.

Otro futuro desarrollo interesante que surgió durante la fase de diseño de la arquitectura del sistema es el permitir mayor flexibilidad en el tipo de acuerdos energéticos. Esta es una ventaja del uso de la tecnología blockchain que no se ha explotado suficiente en este trabajo, dado que los contratos inteligentes permiten gran cantidad de configuraciones. Como ejemplo, se propone el diseñar acuerdos entre múltiples usuarios, es decir, varios consumidores vinculados a un único generador, o varios generadores y un único consumidor. Como continuación a este desarrollo, se propone además investigar la viabilidad de implementación del sistema sobre una blockchain privada, como comparativa respecto a este estudio, donde se analiza la plataforma pública Ethereum.

Una posible rama de ampliación de desarrollo de este trabajo sería la posible implementación de mercados de regulación secundaria al modelo utilizado. De esta manera, se podría investigar la capacidad de gestionar este tipo de regulación energética para ambas arquitecturas.

Finalmente, uno de los aspectos que se ha dejado fuera de los objetivos de este proyecto y resultaría interesante analizar es un estudio económico de los costes de migración, instalación e infraestructura de un sistema centralizado en una plataforma blockchain. En este estudio, únicamente se lleva a cabo una comparativa de los costes operativos, sin embargo, estos costes no permiten mostrar una visión completa de todas las ventajas e inconvenientes para un usuario interesado en implantar la tecnología. Como continuación a este proyecto, se sugiere dimensionar los costes totales que tendría para una empresa el cambiar su infraestructura de redes tipo “Low Voltage Distribution Loop” de estructura centralizada a blockchain.

# 7. ANEXOS

## 7.1. Anexo 1. Tablas estimación costes calculadoras plataformas en nube

Tabla 17: Estimación Máquinas Computación Amazon Web Services


**SIMPLE MONTHLY CALCULATOR**

[Need Help? Watch the Videos or Read How AWS Pricing Works or Contact Sales](#)

Get Started with AWS: [Learn more about our Free Tier](#) or [Sign Up for an AWS Account](#)

**FREE USAGE TIER:** New Customers get free usage tier for first 12 months

**Services**

**Estimate of your Monthly Bill (\$ 38,66)**

**Choose region:** EU (Paris) Inbound Data Transfer is Free and Outbound Data Transfer is 1 GB free per region per month

Amazon Elastic Compute Cloud (Amazon EC2) is a web service that provides resizable compute capacity in the cloud. It is designed to make web-scale computing easier for developers. Amazon Elastic Block Store (EBS) provides persistent storage to Amazon EC2 instances.

**Computer: Amazon EC2 Instances:**

Description	Instances	Usage	Type	Billing Option	Monthly Cost
<input type="button" value="−"/> Add New Row	2	100 % Utilized/	Linux on t2.small	On-Demand (No Co	\$ 38,66

**Computer: Amazon EC2 Dedicated Hosts:**

Description	Number of Hosts	Usage	Type	Billing Option
<input type="button" value="−"/> Add New Row				

**Storage: Amazon EBS Volumes:**

Description	Volumes	Volume Type	Storage	IOPS	Baseline Throughput	Snapshot Storage
<input type="button" value="−"/> Add New Row						

**Additional T2/T3 Unlimited vCPU Hours per month:**

For Linux, RHEL, and SLES:  Hours/Month

For Windows and Windows with SQL Web:  Hours/Month

**Elastic IP:\***

Enter values below  Calculate

Total time the additional Elastic IPs are attached to running EC2 instances:  Hours/Month

Total Non-attached time for all the Elastic IPs:  Hours/Month

Number of Elastic IP Remaps:  Per Month

**Common Customer Samples**

- Free Website on AWS
- AWS Elastic Beanstalk Default
- Marketing Web Site
- Large Web Application (All On-Demand)
- Media Application
- European Web Application
- Disaster Recovery and Backup

Tabla 18: Estimación Máquinas Computación Microsoft Azure

Su presupuesto
+

---

### Virtual Machines

REGION: Europa Occidental

SISTEMA OPERATIVO: Linux

NIVEL: Basic

TIPO: Ubuntu

INSTANCIAS: A1: Núcleos: 1, 1.75 GB de RAM, 40 GB de almacenamiento temporal, 0,0228 €/hora

Virtual Machines

2 A1 (1 vCPU, 1.75 GB de RAM) x 730 Hours, Linux – Ub...

33,29 €

**Presupuesto total: 33,29 €**

↶
↷
📄

+ Clonar
🗑 Eliminar

**Más información**

- \$ Detalles de precios
- i Detalles del producto
- 📄 Documentación

### Opción de facturación

La opción de 1 año de reserva no está disponible para las instancias seleccionadas.

La opción de 3 años de reserva no está disponible para las instancias seleccionadas.

Pago por uso

1 año de reserva

3 años de reserva

2
×
730

Máquinas
Hours

=
33,24 €

Por mes

Tabla 19: Estimación Máquinas Computación Google Cloud Platform



[For qué elegir Google](#)
[Soluciones](#)
[Productos](#)
[Precios](#)
[Empezar](#)

[Documentos](#)
[Asistencia](#)
[Language](#)
[Acceder](#)

[Contactar con ventas](#)
[Pruebalo gratis](#)

Search for a product you are interested in.



COMPUTE ENGINE



APP ENGINE



KUBERNETES ENGINE



CLOUD RUN



CLOUD STORAGE



NETWORKING



BIGQUERY



BIGQUERY ML

**Instances**

Number of instances ?

What are these instances for? ?

Operating System / Software  
Free: Debian, CentOS, CoreOS, Ubuntu, or other User Provided OS ?

Machine Class  
Regular ?

Machine Family  
General purpose ?

Machine type  
f1-micro (vCPUs: shared, RAM: 0.60 GB) ?

Add GPUs. ?

GPUs aren't available for shared vCPUs.

Local SSD ?

0 ?

Datacenter location  
lowa (us-central1) ?

Committed usage ?

**Estimate 1**

Compute Engine

2 x

1,460 total hours per month

VM class: regular

Instance type: g1-small

Region: Belgium

Sustained Use Discount: 30% ?

Effective Hourly Rate: EUR 0.018

Estimated Component Cost: EUR 25.65 per 1 month

**Total Estimated Cost: EUR 25.65 per 1 month**

Estimate Currency  
EUR - Euros

Adjust Estimate Timeframe

1 day   1 week   1 month   1 quarter   1 year   3 years

[EMAIL ESTIMATE](#) [SAVE ESTIMATE](#)

Tabla 20: Estimación Máquinas SQL Amazon Web Services 1



**SIMPLE MONTHLY CALCULATOR**

Language: English

Need Help? [Watch the Videos](#) or [Read How AWS Pricing Works](#) or [Contact Sales](#)

Get Started with AWS: [Learn more about our Free Tier](#) or [Sign Up for an AWS Account](#)\*

**Services** Estimate of your Monthly Bill (\$ 13.91)

**Choose region:** EU (Paris) Inbound Data Transfer is Free and Outbound Data Transfer is 1 GB free per region per month

**FREE USAGE TIER:** New Customers get free usage tier for first 12 months

**Amazon RDS On-Demand DB Instances:**

Description	DB Instances	Usage	DB Engine and License	Class and Deployment	Storage	I/O	Backtrack
<span style="color: red;">-</span>	1	100 % Utilized/	MySQL	db.t3.micro	General F	20 GB	Provisioned IOPS: 0
Add New Row							

**Amazon RDS Aurora Global Database Secondary Region Instances:\***

Description	DB Instances	Usage	DB Engine and License	Class	Storage	I/O
Add New Row						

\* Note: The above table is to estimate secondary region for Amazon RDS Aurora global Database. Estimate your primary region in the respective region under Amazon RDS On-Demand DB Instances.

**Amazon RDS Aurora Serverless:**

Description	Usage	DB Engine	Number of Aurora Capacity Unit(ACU)	Storage	I/O
Add New Row					

**Additional Backup Storage (Free backup storage up to 100% of provisioned Storage):**

Backup Type	Backup Storage
Add New Row	

**Amazon RDS Reserved DB Instances:**

Description	DB Instances	DB Engine and License	Class and Deployment	Offering and Term	Storage	I/O	Backtrack
Add New Row							

**Common Customer Samples**

- Free Website on AWS
- AWS Elastic Beanstalk Default
- Marketing Web Site
- Large Web Application (All On-Demand)
- Media Application
- European Web Application
- Disaster Recovery and Backup

Reset All

Clear Form

Tabla 21: Estimación Máquinas SQL Amazon Web Services 2


**SIMPLE MONTHLY CALCULATOR**

Language: English

[Need Help? Watch the Videos or Read How AWS Pricing Works or Contact Sales](#)

[FREE USAGE TIER:](#) New Customers get free usage tier for first 12 months

[Get Started with AWS:](#) [Learn more about our Free Tier](#) or [Sign Up for an AWS Account](#) \*

Reset All
Services
**Estimate of your Monthly Bill (\$ 13.91)**

**Estimate of Your Monthly Bill**

Show First Month's Bill (include all one-time fees, if any)

Below you will see an estimate of your monthly bill. Expand each line item to see cost breakout of each service. To save this bill and input values, click on 'Save and Share' button. To remove the service from the estimate, jump back to the service and clear the specific service's form.

Export to CSV
Save and Share

<b>Amazon EC2</b>					
Amazon S3					
Amazon Route 53					
Amazon CloudFront					
<b>Amazon RDS</b>					
Amazon Elastic Load Balancing					
Amazon DynamoDB					
Amazon SNS Service (EU (Paris))					
Amazon SQS Service (EU (Paris))					
AWS Data Transfer In					
AWS Data Transfer Out					
AWS Support (Basic)					
Amazon CloudWatch					
Amazon SNS					
Amazon Redshift					
Amazon Glacier					
Amazon SQS					
Amazon SWF					
Amazon Elastic MapReduce					
Amazon Kinesis Streams					
AWS CloudTrail					
<b>Free Tier Discount:</b>				\$	-2.66
<b>Total Monthly Payment:</b>				\$	13.91

Common Customer Samples

- Free Website on AWS
- AWS Elastic Beanstalk Default
- Marketing Web Site
- Large Web Application (All On-Demand)
- Media Application
- European Web Application
- Disaster Recovery and Backup

16.57

13.91

2.66

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

-2.66

13.91

Tabla 22: Estimación Máquinas SQL Microsoft Azure

**Microsoft Azure**

¡Póngase en contacto con ventas: T-800-867-1389

Search

[Mi cuenta](#)
[Portal](#)
[Iniciar sesión](#)

Información general

Soluciones

Productos

Documentación

**Precios**

Formación

Marketplace

Asociados

Soporte técnico

Blog

Más

[Cuenta gratuita](#)

**Su presupuesto**

Presupuesto total: **8,26 €**

**Azure SQL Database**

Base de datos única, modelo de compra DTU, nivel Basi...

REGION: **Europa Occidental**

MODELO DE COMPRA: **DTU**

NIVEL DE SERVICIO: **Basic**

NIVEL DE ALMACENAMIENTO DE COPIA DE SEGURIDAD: **LRS**

TIPO: **Base de datos única**

NIVEL DE RENDIMIENTO: **B: 5 DTU, 2 GB incluido almacenamiento por BD, 0,0057 €/hora**

Bases de datos: **2** × Hours: **730** = **8,26 €**

**Retención a largo plazo**

Tamaño promedio de la base de datos durante el período de retención: **20 GB**

[Clonar](#)

[Eliminar](#)

**Más información**

- [Detalles de precios](#)
- [Detalles del producto](#)
- [Documentación](#)

[8,26 €](#)

[Clonar](#)

[Eliminar](#)

Tabla 23: Estimación Máquinas SQL Google Cloud Platform


[Google Cloud](#)

[For que elegir Google](#)

[Soluciones](#)
[Productos](#)
[Precios](#)
[Empezar](#)



Search for a product you are interested in.

### Google Cloud SQL

FIRST GENERATION
SECOND GENERATION
POSTGRESQL

Number of instances ?

2

SQL Instance Type ?

db-pg-f1-micro

Enable High Availability Configuration: ?

Location ?

Belgium (europe-west1)

Storage (Provisioned Amount) ?

20 SSD GB

Backup size ?

0 GB

Average hours per day database is running ?

24 hours per day

Average days per week database is running ?

7

ADD TO ESTIMATE

Estimate 1

Cloud SQL for Postgres

db-pg-f1-micro ✕

# of instances: 2

Location: Belgium

730.0 total hours per month

SSD Storage: 20.0 GB

Backup: 0.0 GB

[Sustained Use Discount: 30%](#) ?

EUR 19.49

**Total Estimated Cost: EUR 19.49 per 1 month**

Estimate Currency: EUR - Euros

Adjust Estimate Timeframe

1 day 1 week 1 month 1 quarter 1 year 3 years

EMAIL ESTIMATE
SAVE ESTIMATE

Contactar con ventas

Pruebalo gratis


[Documentos](#)

[Asistencia](#)

[Language](#)

[Acceder](#)

## 7.2. Anexo 2. Tabla costes Gas de OPCODES en Ethereum

Tabla 24: Tabla Costes Gas de OPCODES en Ethereum

<b>OPCODE</b>	<b>Gas</b>	<b>Notes</b>
STOP	0	Halts execution.
ADD	3	Addition operation
MUL	5	Multiplication operation.
SUB	3	Subtraction operation.
DIV	5	Integer division operation.
SDIV	5	Signed integer division operation (truncated).
MOD	5	Modulo remainder operation
SMOD	5	Signed modulo remainder operation.
ADDMOD	8	Modulo addition operation.
MULMOD	8	Modulo multiplication operation.
SIGNEXTEND	5	Extend length of two's complement signed integer.
LT	3	Less-than comparison.
GT	3	Greater-than comparison.
SLT	3	Signed less-than comparison.
SGT	3	Signed greater-than comparison.
EQ	3	Equality comparison.
ISZERO	3	Simple not operator.
AND	3	Bitwise AND operation.
OR	3	Bitwise OR operation
XOR	3	Bitwise XOR operation.
NOT	3	Bitwise NOT operation.
BYTE	3	Retrieve single byte from word
ADDRESS	2	Get address of currently executing account.
BALANCE	400	Get balance of the given account.
ORIGIN	2	Get execution origination address.
CALLER	2	Get caller address.
CALLVALUE	2	Get deposited value by the transaction responsible for this execution.
CALLDATALOAD	3	Get input data of current environment.
CALLDATASIZE	2	Get size of input data in current environment.
CODESIZE	2	Get size of code running in current environment.
GASPRICE	2	Get price of gas in current environment.
EXTCODESIZE	700	Get size of an account's code.
BLOCKHASH	20	Get the hash of one of the 256 most recent complete blocks.
COINBASE	2	Get the block's beneficiary address.

TIMESTAMP	2	Get the block's timestamp.
NUMBER	2	Get the block's number.
DIFFICULTY	2	Get the block's difficulty.
GASLIMIT	2	Get the block's gas limit.
POP	2	Remove item from stack.
MLOAD	3	Load word from memory.
MSTORE	3	Save word to memory
MSTORE8	3	Save byte to memory.
SLOAD	200	Load word from storage
JUMP	8	Alter the program counter
JUMPI	10	Conditionally alter the program counter.
MSIZE	2	Get the size of active memory in bytes.
GAS	2	Get the amount of available gas.
JUMPDEST	1	Mark a valid destination for jumps
PUSH*	3	Place * byte item on stack. $0 < * \leq 32$
DUP*	3	Duplicate *th stack item. $0 < * \leq 16$
SWAP*	3	Exchange 1st and (* + 1)th stack items.
CREATE	32000	Create a new account with associated code.
RETURN	0	Halt execution returning output data.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Preukschat, *Blockchain: la revolución industrial de internet*, 3ª edición. Barcelona: Gestión 2000, 2017.
- [2] Bitcoin, «Bitcoin», *Bitcoin*. [En línea]. Disponible en: <https://bitcoin.org/>. [Accedido: 28-feb-2019].
- [3] Ethereum, «Ethereum», *Ethereum*. [En línea]. Disponible en: <https://www.ethereum.org/>. [Accedido: 12-feb-2019].
- [4] Andreas M. Antonopoulos, *Mastering Bitcoin*, 6.ª ed. .
- [5] NEO, «NEO». [En línea]. Disponible en: <https://neo.org/>. [Accedido: 22-mar-2019].
- [6] Ripple, «Ripple». [En línea]. Disponible en: <https://ripple.com/>. [Accedido: 22-ene-2019].
- [7] SolarCoin, «SolarCoin». [En línea]. Disponible en: <https://solarcoin.org/>. [Accedido: 15-feb-2019].
- [8] «SolarCoin Policy Paper - Informe Técnico». [En línea]. Disponible en: [https://solarcoin.org/wp-content/uploads/SolarCoin\\_Policy\\_Paper\\_EN-1.pdf](https://solarcoin.org/wp-content/uploads/SolarCoin_Policy_Paper_EN-1.pdf). [Accedido: 23-mar-2018].
- [9] IOTA, «IOTA». [En línea]. Disponible en: <https://www.iota.org/>. [Accedido: 21-mar-2019].
- [10] «What is Ethereum Casper Protocol? Crash Course - Blockgeeks». [En línea]. Disponible en: <https://blockgeeks.com/guides/ethereum-casper/>. [Accedido: 13-feb-2018].
- [11] «NEO White Paper», *GitHub*, 02-may-2018. [En línea]. Disponible en: <https://github.com/neo-project/docs>. [Accedido: 01-mar-2018].
- [12] D. Cohen, D. Schwartz, y A. Britto, «The XRP Ledger Consensus Process». [En línea]. Disponible en: <https://ripple.com/build/xrp-ledger-consensus-process/>. [Accedido: 13-feb-2018].
- [13] «Bitcoin Cash - Peer-to-Peer Electronic Cash». [En línea]. Disponible en: <https://www.bitcoincash.org/en/>. [Accedido: 02-mar-2018].

- [14] Prabath Siriwardena, «The Mystery Behind Block Time», *FACILELOGIN*, 15-oct-2017. [En línea]. Disponible en: <https://medium.facilelogin.com/the-mystery-behind-block-time-63351e35603a>. [Accedido: 13-feb-2018].
- [15] A. Cunningham, «Bitcoin Transaction Fees Drop Back Below \$10 USD from \$55 USD High», *Coinsquare News*, 19-ene-2018. [En línea]. Disponible en: <https://news.coinsquare.com/digital-currency/bitcoin-transaction-fees-drop/>. [Accedido: 13-jun-2018].
- [16] S. Marquer, «XRP Ledger Decentralizes Further With Expansion to 55 Validator Nodes», *Ripple Insights*, 17-jul-2017. [En línea]. Disponible en: <https://ripple.com/insights/xrp-ledger-decentralizes-expansion-55-validator-nodes/>. [Accedido: 09-feb-2018].
- [17] K. Croman *et al.*, «On Scaling Decentralized Blockchains», en *Financial Cryptography and Data Security*, vol. 9604, J. Clark, S. Meiklejohn, P. Y. A. Ryan, D. Wallach, M. Brenner, y K. Rohloff, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2016, pp. 106-125.
- [18] Enrique Gómez Limia, «Blockchain Technology Application to Energy Communities», Universidad Pontificia Comillas, 2018.
- [19] Red Eléctrica, «ESIOS». [En línea]. Disponible en: <https://www.esios.ree.es/es>. [Accedido: 26-may-2019].
- [20] Google, «Google Cloud Platform». [En línea]. Disponible en: <https://cloud.google.com/>. [Accedido: 18-may-2019].
- [21] Microsoft, «Microsoft Azure». [En línea]. Disponible en: <https://azure.microsoft.com/>. [Accedido: 22-may-2019].
- [22] Amazon, «Amazon Web Services». [En línea]. Disponible en: <https://aws.amazon.com/>. [Accedido: 20-may-2019].
- [23] Danny Ryan, «Calculating Costs in Ethereum Contracts», *Hackernoon*, 28-jun-2017. [En línea]. Disponible en: <https://hackernoon.com/ether-purchase-power-df40a38c5a2f>. [Accedido: 05-mar-2019].
- [24] H. Diedrich, *Ethereum: blockchains, digital assets, smart contracts, decentralized autonomous organizations*, Preview 3. Lexington, KY: Wildfire Publishing, 2016.
- [25] Alan Lu, «Oracle interface», *GitHub*, 27-jun-2018. [En línea]. Disponible en:

<https://github.com/ethereum/EIPs/issues/1161>. [Accedido: 22-may-2019].

[26] Julien Thevenard, «Decentralised Oracles: a comprehensive overview», Medium, 15-jan-2019. [En línea]. Disponible en: <https://medium.com/fabric-ventures/decentralised-oracles-a-comprehensive-overview-d3168b9a8841>. [Accedido: 15-jun-2019].

[27] Mahesh Chand, «What is the Most Popular Blockchain in the World?», 13-ene-2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.c-sharpcorner.com/article/what-is-the-most-popular-blockchain-in-the-world2/>. [Accedido: 05-jun-2019].

[28] Gavin Wood, «Ethereum Yellow Paper», *GitHub*, 07-sep-2019. [En línea]. Disponible en: <https://ethereum.github.io/yellowpaper/paper.pdf>. [Accedido: 03-abr-2019].

[29] «ADRASE: Acceso a Datos de Radiación Solar de España», *ADRASE*, 22-may-2019. [En línea]. Disponible en: [http://www.adrase.com/adrasemaps/php/monthly\\_popup.php?lat=39.34&lon=-0.39&var\\_tipe=0](http://www.adrase.com/adrasemaps/php/monthly_popup.php?lat=39.34&lon=-0.39&var_tipe=0).

[30] «CryptoCompare». [En línea]. Disponible en: <https://min-api.cryptocompare.com/>. [Accedido: 10-jul-2019].

[31] Ingo Weber, Paul Rimba, y An Bihn Tran, «Comparing Blockchain and Cloud Services for Business Process Execution», *Sch. Comput. Sci. Eng. UNSW Syd. Aust.*, 01704 2017.

Diego  
Plata  
Rodilla

**ESTUDIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN EN UN  
SISTEMA LOW VOLTAGE DISTRIBUTION LOOP**

