



MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MODELO DE NEGOCIO BASADO EN BLOCKCHAIN

Autor: Raúl Javier Fernández Jerez

Directora: Carmen Rider Vázquez

JULIO 2021

Madrid

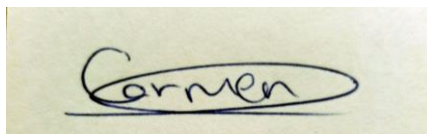
Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Modelo de negocio basado en blockchain
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2020/21 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.
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.: Raúl Javier Fernández Jerez

Fecha: 10/ julio/ 2021

Autorizada la entrega del proyecto
LA DIRECTORA DEL PROYECTO



Fdo.: Carmen Rider Vázquez

Fecha: 10/ julio/ 2021



MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MODELO DE NEGOCIO BASADO EN BLOCKCHAIN

Autor: Raúl Javier Fernández Jerez

Directora: Carmen Rider Vázquez

JULIO 2021

Madrid

MODELO DE NEGOCIO BASADO EN BLOCKCHAIN

Autor: Fernández Jerez, Raúl Javier.

Directora: Rider Vázquez, Carmen.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas)

RESUMEN DEL PROYECTO

Este trabajo de fin de máster ha analizado la tecnología blockchain para desarrollar un modelo de negocio sostenible. El modelo realizado ha sido la venta de energía excedentaria del autoconsumo a entidades o particulares cercanos a la generación, utilizando una red blockchain para certificar las transferencias de energía. Como resultado se obtiene un modelo de negocio que fomenta la energía renovable y que abarata el coste de la energía eléctrica.

Palabras clave: Blockchain, autoconsumo, fotovoltaica, P2P, modelo de negocio.

Introducción

La tecnología blockchain está siendo muy sonada en los últimos años, probablemente por el elevado precio que están adquiriendo las criptomonedas, como por ejemplo Bitcoin la cual ha llegado a superar los 50,000 € la unidad en abril de 2021 (Morningstar, 2021). Incluso Elon Musk opinó sobre este tema en Twitter causando un incremento del 10% en el valor de Bitcoin con un solo “tweet”.

¿Pero realmente existen aplicaciones prácticas de esta tecnología? ¿Para qué sirve blockchain? En muchas ocasiones cuando se habla de blockchain se tiende a pensar sobre Bitcoin, criptomonedas su valor. Pero realmente, detrás de esta tecnología hay mucho más y tiene utilidades prácticas que no se ven y que permiten desarrollar nuevas aplicaciones que antes no se podrían realizar.

Blockchain viene a romper un paradigma del cual ni si quiera somos conscientes en muchas ocasiones. La confianza deja de estar depositada en terceras partes y pasa a ser garantizada por la propia tecnología. Gracias a esto se permite eliminar intermediarios de muchas situaciones, como por ejemplo en los bancos. Cuando el usuario A le hace una transferencia al usuario B, ambos están confiando en el banco. El usuario B confía en el banco para que compruebe que el usuario A tiene los fondos necesarios para la transferencia, y el usuario A confía en el banco para que le llegue esa transacción al usuario B.

Este proyecto busca encontrar una utilidad práctica para esta tecnología, de forma que se pueda desarrollar un modelo de negocio con ella. Además, se busca que este modelo sea de carácter sostenible y que aporte beneficio a la sociedad.

Definición del proyecto

Metodología

Este proyecto se ha desarrollado entre octubre de 2020 y julio de 2021, dividiéndose en las siguientes etapas:

- Investigación sobre la tecnología blockchain, en la que se ha entendido su funcionamiento.
- Búsqueda de modelos de negocio potenciales que basados en blockchain y que tuvieran un carácter sostenible.
- Análisis de los modelos de negocio seleccionados.
- Selección de uno de los modelos de negocio planteados anteriormente y estudio de su industria
- Desarrollo de la solución y modelo de negocio aplicando herramientas estratégicas y desglosando los resultados económicos.

Una parte importante del trabajo ha consistido en contactar y entrevistar profesionales de la industria y de la tecnología, ya sea para validar hipótesis o para obtener más información. Se han contactado más de 50 personas para este proyecto, realizando un total de 11 entrevistas.

Proyecto

Tras realizar un estudio de sobre el funcionamiento de la tecnología se plantearon cuatro modelos de negocio potenciales:

- Autoconsumo P2P
- Garantías de origen renovable (GdOs)
- Trazabilidad del cobalto
- Cargadores de vehículo eléctrico P2P

Se decidió apostar por el autoconsumo P2P. Este modelo de negocio consiste en la venta de la energía fotovoltaica excedentaria de las instalaciones de autoconsumo. Esta energía se venderá a particulares o entidades cercanos a través de la red.

Blockchain entra en juego porque permite la comercialización de la energía directamente entre usuarios sin necesidad de que exista un intermediario. Esto es importante dada la imposibilidad de garantizar los consumos eléctricos sin la existencia de las distribuidoras. De esta forma, los usuarios pueden vender su energía entre ellos, lo que se conoce como P2P.

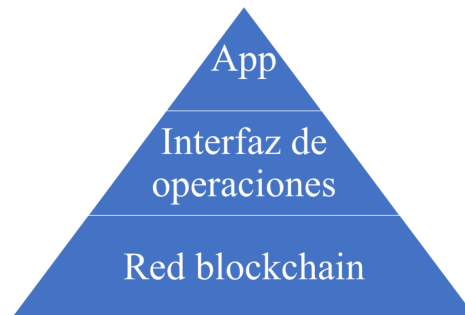
La industria del autoconsumo ha demostrado ser una industria con un crecimiento exponencial en los últimos años, llegando a los 596 MW instalados en el 2020 (UNEF, 2021), frente a la prácticamente inexistente potencia instalada en 2014 (UNEF, 2020).

Además, esta industria se ve fuertemente expuesta un paquete de medidas establecidas en el PNIEC que pretenden fomentar el autoconsumo (Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030, 2020). De hecho, según estima UNEF, para el año 2030 la potencia instalada en España será de 7,4 GW (Molina, 2019).

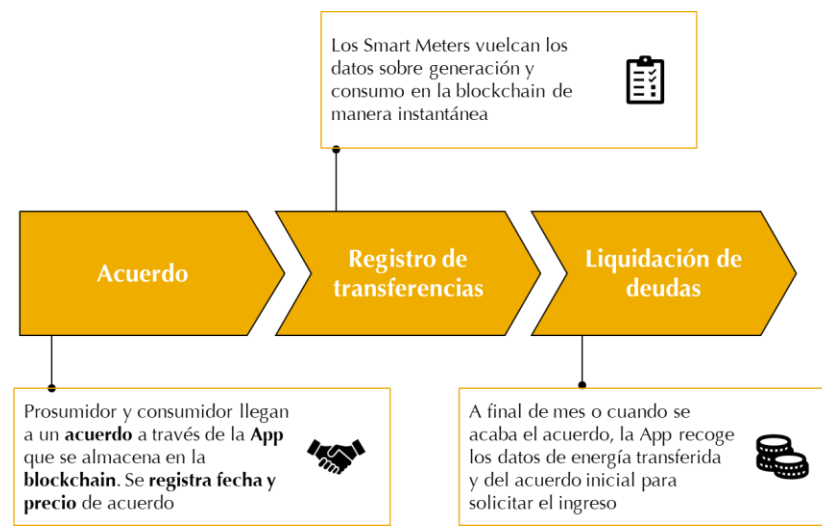
Descripción del producto

El producto será una App a través de la cual los usuarios prosumidores y consumidores se pondrán de acuerdo para la compraventa de energía. También se necesita de una estructura hardware, que será un Smart Meter que registre cuanta energía se está generando de más por parte de los prosumidores y cuanta se consume por parte de los generadores.

La App utiliza los datos obtenidos de la blockchain, siguiendo la pirámide que se puede ver a continuación. Se puede afirmar que la blockchain es la “autopista” que permite la base de la aplicación.



La forma de utilizar blockchain y la experiencia del usuario se puede ver en el siguiente esquema.



El usuario prosumidor y consumidor pactan un precio por la energía excedentaria a través de la App, la cual lo registra en la blockchain, así como la fecha. Posteriormente los Smart Meters vuelcan la información de la transferencia de energía entre usuarios en la blockchain. Finalmente, la App recoge los datos en la blockchain sobre precio y energía transferida y reclama al consumidor un pago por métodos tradicionales.

De esta forma se permite la venta directa de energía entre usuarios sin necesidad de un intermediario, ya que la confianza está depositada en la propia tecnología,

Esta forma se mudará al uso de contratos inteligentes en el futuro, de forma que el acuerdo entre prosumidor y consumidor se hará de forma instantánea, por lo que los pagos se realizarán de manera inmediata. Pero dado que esto añade complejidad se opta por esta forma para poder lanzar un MVP a mercado cuanto antes.

Modelos de negocio

Se han planteados dos modelos diferentes para la venta de este producto:

- Venta entre particulares (B2C): La compraventa de excedentes tiene lugar entre particulares. Gracias a este modelo, prosumidor y consumidor se ahorran más de 190 € cada uno con respecto a los métodos actuales.
- Venta a entidades (B2B): Se vende el producto a una entidad superior que da servicio a otra entidad o particulares. De esta forma, la entidad superior da un mejor servicio ofreciendo energía limpia y a menor precio. Se consigue crear valor en forma de lo que se ahorran los servidos y los ingresos que se le generan al prosumidor.

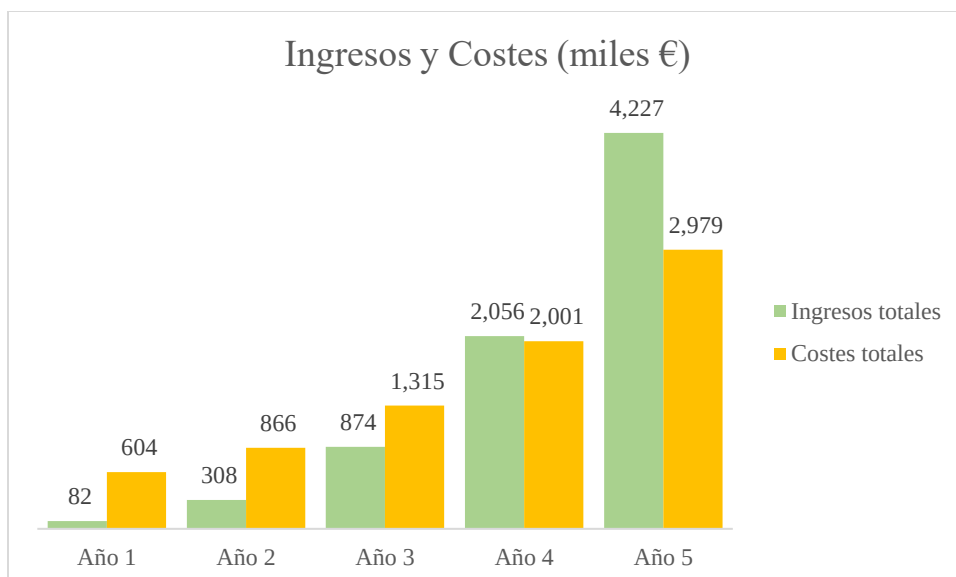
Se han planteado dos casos de uso, ayuntamientos en los que en sus edificios con autoconsumo se vende el excedente quienes viven cerca de la instalación y propietarios de centros comerciales que pueden ofrecer un mejor servicio a sus alquilerados mediante energía renovable y ahorro en la factura de la luz.

En ambos casos se utiliza un modelo de tarifa que cobra el 50% del ahorro creado anualmente.

Resultados

Con un presupuesto inferior a 150.000 € se puede desarrollar esta plataforma blockchain que permite las transacciones P2P de la energía.

Como resultado del modelo de negocio se obtienen los ingresos y gastos mostrados a continuación.



Como se puede comprobar el modelo pasa a ser rentable en el año 4. Esto se debe al elevado coste de los Smart Meters, lo que hace que el coste de captación sea elevado comparado con lo que se va a ingresar de ese mismo cliente ese año, aunque no superior.

Conclusiones

Tras la realización del proyecto se han obtenido seis conclusiones importantes.

1. En primer lugar, la tecnología blockchain permite la venta directa de energía entre usuarios de instalaciones de autoconsumo, sin que exista la necesidad de un intermediario que garantice la confianza entre dos usuarios que no se conocen.
2. Se trata de un modelo de negocio recurrente que garantiza los flujos de caja durante largos periodos de tiempo. Este se debe a que a la vida media de una instalación de autoconsumo es superior a 20 años.
3. La rentabilidad por cliente es muy elevada, tanto en el caso B2C como en el caso B2B. Esto se debe a que el coste de mantenimiento de un cliente es prácticamente nulo. En el caso de B2C se puede estimar que los ingresos durante la vida de un cliente que se mantiene durante la vida útil de su instalación serán de más de 1.900€.
4. Se incide directamente sobre el precio final de la luz, reduciéndolo por debajo del de mercado de manera natural. Esto permite que gracias a instalaciones de autoconsumo se puedan mitigar los efectos de la pobreza energética, ya sea por clientes particulares con una instalación cercana o Ayuntamientos poniendo instalaciones de autoconsumo en lugares estratégicos. En el caso del modelo de negocio B2C, se consigue un ahorro en torno a los 190€.
5. Se fomenta el uso de las energías renovables, ya que al incidir directamente sobre el ahorro que genera, hace que la amortización de los paneles se reduzca en torno a 1,7 años entre los particulares.

6. Finalmente, dada la elevada componente software del producto, se facilita la escalabilidad del productor a otras regiones.

Referencias

Morningstar. (Abril de 2021).

UNEF. (2020). *Informe Anual 2020 Unión Española Fotovoltaica*.

UNEF. (29 de enero de 2021). *El autoconsumo muestra su resiliencia y avanza un 30%*. Obtenido de <https://unef.es/2021/01/el-autoconsumo-muestra-su-resiliencia-y-avanza-un-30/>

Molina, P. S. (28 de mayo de 2019). UNEF espera que se instalen 7,4 GW de autoconsumo para el año 2030. *pV magazine*. Obtenido de <https://www.pv-magazine.es/2019/05/28/unef-espera-que-se-instalen-74-gw-de-autoconsumo-para-el-ano-2030/>

BLOCKCHAIN-BASED BUSINESS MODEL

Author: Fernández Jerez, Raúl Javier.

Director: Rider Vázquez, Carmen.

Collaborating Entity: ICAI - Universidad Pontificia Comillas)

PROJECT SUMMARY

This master's thesis has analyzed the blockchain technology to develop a sustainable business model. The model has been the sale of surplus energy from self-consumption to entities or individuals close to the generation, using a blockchain network to certify energy transfers. The result is a business model that promotes renewable energy and lowers the cost of electricity.

Keywords: Blockchain, self-consumption, photovoltaic, business model, P2P.

Introduction

The blockchain technology is being much talked about in recent years, probably because of the high price that cryptocurrencies are acquiring, such as Bitcoin, which has reached over 50,000 € per unit in April 2021. (Morningstar, 2021) . Even Elon Musk opined on this topic on Twitter causing a 10% increase in the value of Bitcoin with a single "tweet".

But are there really practical applications of this technology? What is blockchain for? On many occasions when we talk about blockchain we tend to think about Bitcoin, cryptocurrencies and their value. But really, behind this technology there is much more and it has practical utilities that are not seen and that allow the development of new applications that could not be done before.

Blockchain comes to break a paradigm of which we are not even aware in many occasions. Trust is no longer placed in third parties and becomes guaranteed by the technology itself. Thanks to this, intermediaries can be eliminated in many situations, such as in banks. When user A makes a transfer to user B, both are trusting the bank. User B trusts the bank to verify that user A has the necessary funds for the transfer, and user A trusts the bank to ensure that the transaction reaches user B.

This project seeks to find a practical use for this technology, so that a business model can be developed with it. In addition, this model should be sustainable and provide benefits to society.

Project definition

Methodology

This project has been developed between October 2020 and July 2021, divided into the following stages:

- Research on blockchain technology, in which its operation has been understood.

- Search for potential blockchain-based business models that are sustainable in nature.
- Analysis of selected business models.
- Selection of one of the above business models and study of its industry.
- Development of the solution and business model applying strategic tools and breaking down the economic results.

An important part of the work consisted of contacting and interviewing industry and technology professionals, either to validate hypotheses or to obtain more information. More than 50 people have been contacted for this project, conducting a total of 11 interviews.

Project

After conducting a study of how the technology works, four potential business models were proposed:

- P2P self-consumption
- Guarantees of renewable origin (GdOs)
- Cobalt traceability
- P2P electric vehicle chargers

It was decided to go for P2P self-consumption. This business model consists of selling surplus photovoltaic energy from self-consumption facilities. This energy will be sold to nearby individuals or entities through the grid.

Blockchain comes into play because it allows the commercialization of energy directly between users without the need for an intermediary. This is important given the impossibility of guaranteeing electricity consumption without the existence of distributors. In this way, users can sell their energy among themselves, which is known as P2P.

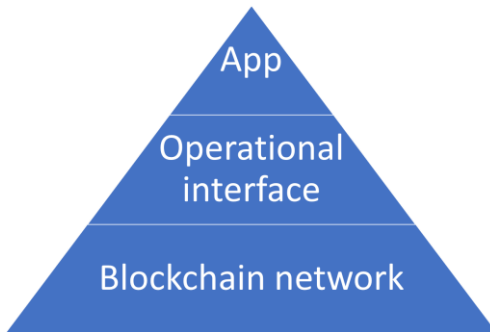
The self-consumption industry has proven to be an industry with an exponential growth in recent years, reaching 596 MW installed in 2020. (UNEF, 2021) compared to the practically non-existent installed capacity in 2014. (UNEF, 2020) .

In addition, this industry is heavily exposed to a package of measures established in the PNIEC that aim to encourage self-consumption. (National Integrated Energy and Climate Plan 2021-2030, 2020). . In fact, according to UNEF estimates, by 2030 the installed capacity in Spain will be 7.4 GW. (Molina, 2019) .

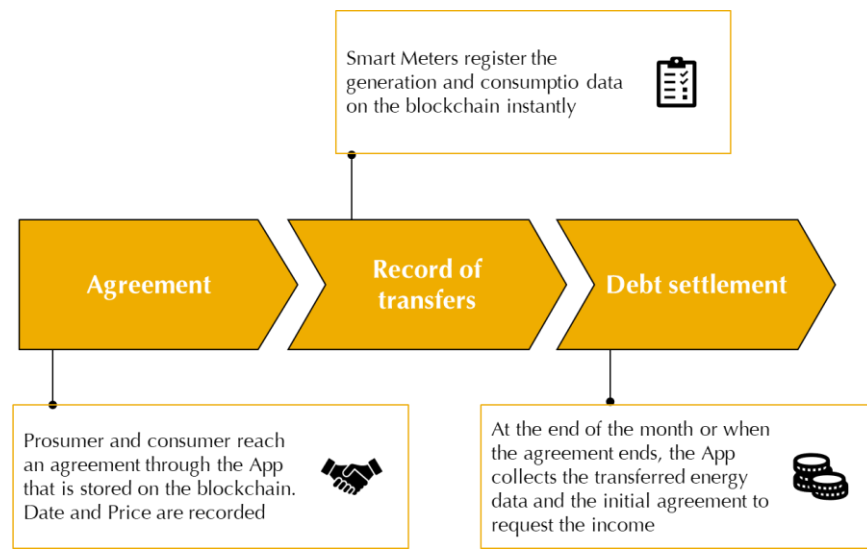
Product description

The product will be an App through which prosumers and consumers will agree to buy and sell energy. A hardware structure is also needed, which will be a Smart Meter that will register how much energy is being generated by prosumers and how much is being consumed by generators.

The App uses the data obtained from the blockchain, following the pyramid that can be seen below It can be stated that the blockchain is the "highway" that enables the basis of the application.



The way blockchain is used and the user experience can be seen in the following diagram.



The prosumer user and consumer agree on a price for the surplus energy through the App, which registers it in the blockchain, as well as the date. Subsequently, the Smart Meters dump the information of the energy transfer between users in the blockchain. Finally, the App collects the data in the blockchain about price and transferred energy and claims a payment from the consumer by traditional methods.

This allows the direct sale of energy between users without the need for an intermediary, since the trust is placed in the technology itself,

This form will move to the use of smart contracts in the future, so that the agreement between prosumer and consumer will be made instantly, so that payments will be made immediately. But since this adds complexity this way is chosen in order to be able to launch an MVP to market as soon as possible.

Business models

Two different models have been proposed for the sale of this product:

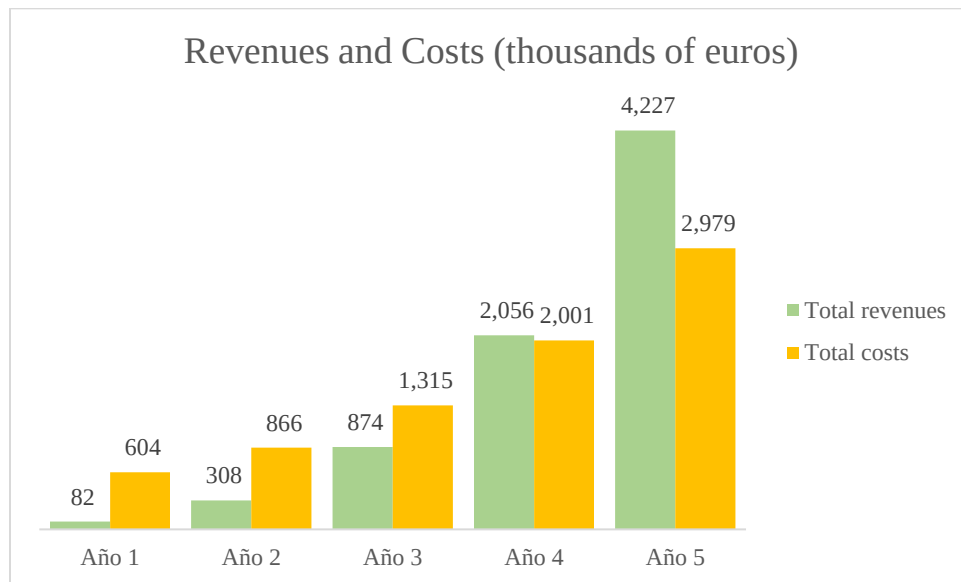
- Private-to-private sales (B2C): The sale and purchase of surpluses takes place between private individuals. Thanks to this model, prosumer and consumer save more than €190 each compared to current methods.
- Sale to entities (B2B): The product is sold to a superior entity that provides service to another entity or individuals. In this way, the superior entity provides a better service by offering clean energy at a lower price. Value is created in the form of savings for the service provider and income generated for the prosumer. Two use cases have been proposed, municipalities in which in their buildings with self-consumption the surplus is sold to those who live near the installation and owners of shopping centers that can offer a better service to their tenants through renewable energy and savings in the electricity bill.

In both cases, a tariff model is used that charges 50% of the savings created annually.

Results

With a budget of less than €150,000, this blockchain platform can be developed to enable P2P energy transactions.

As a result of the business model, the revenues and expenses shown below are obtained.



As can be seen, the model becomes profitable in year 4. This is due to the high cost of the Smart Meters, which makes the acquisition cost high compared to what will be received from the same customer that year, although not higher.

Conclusions

Six important conclusions have been drawn from the project.

1. First, blockchain technology enables the direct sale of energy between users of self-consumption facilities, without the need for an intermediary to ensure trust between two users who do not know each other.
2. This is a recurring business model that guarantees cash flows over long periods of time. This is due to the fact that the average life of a self-consumption installation is more than 20 years.
3. Profitability per customer is very high, both in the B2C and B2B cases. This is due to the fact that the cost of maintaining a customer is practically zero. In the case of B2C, it can be estimated that the lifetime revenue of a customer that is maintained during the useful life of its installation will be more than €1,900.
4. It has a direct impact on the final price of electricity, reducing it below the market price in a natural way. This allows that, thanks to self-consumption installations, the effects of energy poverty can be mitigated, either by private customers with a nearby installation or by municipalities placing self-consumption installations in strategic locations. In the case of the B2C business model, savings of around €190 are achieved.
5. The use of renewable energies is encouraged, as it has a direct impact on the savings it generates, reducing the amortization of the panels by around 1.7 years for private individuals.
6. Finally, given the high software component of the product, it facilitates the producer's scalability to other regions.

References

Morningstar. (April 2021).

UNEF. (2020). *Informe Anual 2020 Unión Española Fotovoltaica*.

UNEF. (29 de enero de 2021). *El autoconsumo muestra su resiliencia y avanza un 30%*. Obtained from <https://unef.es/2021/01/el-autoconsumo-muestra-su-resiliencia-y-avanza-un-30/>

Molina, P. S. (28 de mayo de 2019). UNEF espera que se instalen 7,4 GW de autoconsumo para el año 2030. *pvmagazine*. Obtained from <https://www.pv-magazine.es/2019/05/28/unef-espera-que-se-instalen-74-gw-de-autoconsumo-para-el-ano-2030/>

CONTENIDO

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA	3
2.1 Investigación sobre la tecnología blockchain.....	3
2.2 Modelos de negocio potenciales	3
2.3 Estudio sobre la industria del modelo de negocio seleccionado	4
2.4 Desarrollo de la solución y modelo de negocio	4
CAPÍTULO 3 TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN.....	5
3.1 HISTORIA	5
3.2 PROBLEMA DE LOS GENERALES BIZANTINOS	6
3.2 ¿QUÉ ES EL BLOCKCHAIN?	9
3.2.1 Función Hash.....	9
3.2.2 Seguridad en blockchain.....	10
3.2.3 Escritura de bloques.....	11
3.2.4 Funcionamiento de la red Bitcoin.....	12
3.2.5 Tipos de redes blockchain	16
3.3 MECANISMOS DE CONSENSO.....	18
3.3.1 Teorema de la imposibilidad FLP	18
3.3.2 Proof of Work.....	21
3.3.3 Proof of Stake	25
3.3.4 Proof of Authority	28
3.3.5 Federated Byzantine Agreement	29
3.3.6 Ataque del 51%	30
3.3.7 Ejemplo de redes y mecanismos de consenso	31
3.4 Contratos inteligentes.....	32

3.5 DApps.....	34
CAPÍTULO 4 MODELOS DE NEGOCIO CON BLOCKCHAIN	35
4.1 Garantías de origen renovable (GdO)	35
4.2 Autoconsumo colaborativo P2P	38
4.3 Trazabilidad del Cobalto	41
4.4 Cargadores de vehículo eléctrico P2P	45
4.5 SELECCIÓN Modelo de negocio elegido	45
CAPÍTULO 5 Energía fotovoltaica	48
5.1 Desarrollo de la energía fotovoltaica.....	48
5.1.1 Primeros años	48
5.1.2 Carrera espacial y paneles fotovoltaicos	48
5.1.3 Aplicaciones terrestres.....	50
5.2 Energía fotovoltaica en España	52
5.3 Autoconsumo	53
5.3.1 Real Decreto 244/2019	55
5.3.2 Sistemas de autoconsumo	59
CAPÍTULO 6 DESARROLLO DEL PRODUCTO Y MODELO DE NEGOCIO.....	63
6.1 Modelo funcional autoconsumo P2P.....	64
6.1.1 Modelo a través de contratos inteligentes.....	65
6.1.2 Modelo “libro de cuentas”	66
6.1.3 Modelo seleccionado: Modelo “libro de cuentas”	66
6.2 Producto	67
6.2.1 Arquitectura Hardware	68
6.2.2 Desarrollo del producto	70
6.2.3 Red blockchain utilizada	71

6.3 Análisis del mercado mediante herramientas estratégicas	73
6.3.1 PESTEL	73
6.3.2 Análisis de las 5 fuerzas de Porter	75
6.3.3 Estudio ahorro venta P2P vs compensación	78
6.3.4 Análisis de las 4Ps	80
6.3.5 Business Model Canvas.....	83
6.4 MODELO DE NEGOCIO B2C	89
6.4.1 Hipótesis	89
6.4.5 Resultados del modelo B2C	90
CAPÍTULO 7 SEGUNDO MODELO DE NEGOCIO (B2B2G)	93
7.1 Business Model Canvas B2B2G	93
7.2 DIFERENCIAS CON EL MODELO B2C	96
7.3 Modelo Ayuntamientos	96
7.3.1 Hipótesis	97
7.3.2 Resultados del modelo Ayuntamientos	100
7.4 Wizink Center	102
7.4.1 Hipótesis	103
7.4.2 Resultados Wizink Center	104
7.5 Centros comerciales	104
7.5.1 Hipótesis	105
7.5.2 Resultado centro comercial	105
7.6 RESULTADOS MODELO DE NEGOCIO B2C Y B2B2G	106
CAPÍTULO 8 CONCLUSIONES	109
8.1 Tecnología e industria	109
8.2 Modelos de negocio	111

ANEXOS	113
Objetivos de desarrollo sostenible.....	113
Motivos por los que la ley debería permitir la venta de energía eléctrica P2P en autoconsumo	114
Bibliografía	117

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Número total de transacciones en Bitcoin. Fuente: Blockchain.com	6
Figura 2 Problema de los generales bizantinos. Fuente: tokeny.pl	8
Figura 3 Función Hash Genérica. Fuente: Kaspersky	10
Figura 4 Cadena de bloques simplificada. Fuente: elaboración propia	13
Figura 5 Potencia de cálculo de hashes en Bitcoin. Fuente: blockchain.com	14
Figura 6 Provisión y recompensa de Bitcoin. Fuente: Coindesk	15
Figura 7 Evolución de la potencia de cálculo de Bitcoin. Fuente: blockchain.com	16
Figura 8 Interfaz de uso de blockchain Microsoft Azure. Fuente: Microsoft Azure	18
Figura 9 Imposibilidad FLP. Fuente: Elaboración propia	19
Figura 10 Preferencia por seguridad frente a continuidad. Fuente: Elaboración propia	20
Figura 11 Preferencia por continuidad frente a seguridad. Fuente: Elaboración propia	21
Figura 12 Consumo energético de Bitcoin comparado con países. Fuente: Statista	23
Figura 13 Economías de escala. Fuente: Strategy for Executives	24
Figura 14 "Pools" de minado de Bitcoin por poder computacional. Fuente: bit2meacademy	25
Figura 15 Aparición del concepto Poof of Stake. Fuente: Bitcointalk.com	25
Figura 16 Ejemplo probabilidad de validar un bloque en Proof of Stake. Fuente: Bit2me	27
Figura 17 Recompensa vs inversión para los mineros/validadores. Fuente: Territorio Blockchain	28
Figura 18 "Quorum slices" FBA. Fuente: ResearchGate	30
Figura 19 Ataque del 51%. Fuente: Bitpanda	31
Figura 20 Ejemplo contrato inteligente. Fuente: Criptotario	33
Figura 21 Ejemplo contrato inteligente. Fuente: Elaboración propia	34
Figura 22 Apps centralizadas vs Dapps. Fuente: Diario Bitcoin	35
Figura 23 Garantías de origen en España en 2018. Fuente: 2018	37
Figura 24 Autoconsumo instalado en España. Fuente: UNEF	39
Figura 25 Compensación vs compra de energía para cliente de autoconsumo. Fuente: Elaboración propia	40
Figura 26 Microred LO3 Energy Nueva York. Fuente: EcoInventos	41
Figura 27 Precio del cobalto en dólares por tonelada. Fuente BBC/Bloomberg	42

Figura 28 Esquema Porkchain. Fuente: CriptoBlog	43
Figura 29 Experiencia de usuario para montar una blockchain de trazabilidad en Microsoft Azure. Fuente: Microsoft Azure	44
Figura 30 Crecimiento de la potencia solar fotovoltaica acumulada en el mundo. Fuente: International Renewable Energy Agency	51
Figura 31 Coste total de instalación, factor de planta y coste de la electricidad. Fuente International Renewable Energy Agency	51
Figura 32 Potencia fotovoltaica instalada en España. Fuente: AleaSoft Energy Forecasting	53
Figura 33 Pérdidas en el sistema eléctrico de España. Fuente: Naturgy	54
Figura 34 Pilares del producto. Fuente: Elaboración propia.....	67
Figura 35 Raspberri Pi 3 B+. Fuente: Amazon.....	69
Figura 36 Modelo de día de verano. Fuente (Cali, 2019)	79
Figura 37 Modelo de día de invierno. Fuente: (Cali, 2019).....	79
Figura 38 Ingresos y costes B2C. Fuente: Elaboración propia.....	92
Figura 39 Superficie Wizink Center. Fuente: Google maps	102
Figura 40 Radio de 500 m sobre el Wizink Center. Fuente: Google maps	103
Figura 41 Ingresos y costes B2C & B2B. Fuente: Elaboración propia	108

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ejemplos de redes por su mecanismo de consesno. Fuente: Elaboración propia	32
Tabla 2 Distribución de la potencia de autoconsumo instalada en 2020. Fuente: UNEF	39
Tabla 3 Motivos de selección o rechazo para los 4 modelos de negocio. Fuente: Elaboración propia	47
Tabla 4 Plan de desarrollo de producto. Fuente: Elaboración propia	70
Tabla 5 Cálculo de costes para el desarrollo de la plataforma. Fuente: Elaboración propia	71
Tabla 6 Resultado ahorro modelo compensación vs P2P. Fuente: Elaboración propia.....	80
Tabla 7 Resultado ahorro prosumidor y consumidor. Fuente: Elaboración propia	80
Tabla 8 Costes variables. Fuente: Elaboración propia.....	88
Tabla 9 Costes salarios empleados. Fuente: Elaboración propia	89
Tabla 10 Resumen de hipótesis. Fuente: Elaboración propia	90
Tabla 11 Ingresos y gastos modelo de negocio B2C. Fuente: Elaboración propia.....	91
Tabla 12 Resumen hipótesis modelo general. Fuente: Elaboración propia	98
Tabla 13 Generación y consumo de la instalación. Fuente: Elaboración propia	99
Tabla 14 Resultados no económicos. Fuente: Elaboración propia	100
Tabla 15 Resultados económicos para la aceptación de la inversión. Fuente: Elaboración propia	101
Tabla 16 Resultados no económicos caso Wizink Center. Fuente: Elaboración propia.....	104
Tabla 17 Resultados económicos sobre el caso Wizink Cener. Fuente: Elaboración propia	104
Tabla 18 Hipótesis modelo centros comerciales. Fuente: Elaboración propia	105
Tabla 19 Resultados no económicos centros comerciales. Fuente: Elaboración propia.....	106
Tabla 20 Resultados económicos caso centros comerciales. Fuente elaboración propia	106
Tabla 21 Ingresos y gastos modelo de negocio B2C & B2B. Fuente: Elaboración propia	107

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

Blockchain ha generado mucha repercusión debido a la gran apreciación que han sufrido ciertas criptomonedas en los mercados financieros, como Bitcoin, cuyo valor llegó a superar los 50.000€ en abril de 2021 (Morningstar, 2021).

Descentralización, eliminación de intermediarios, reducción de costes, inalterabilidad, autenticidad, contratos inteligentes... son palabras muy utilizadas en las cadenas de bloques, y son puntos clave para entender esta tecnología.

Detrás de estas criptomonedas está la tecnología blockchain, pero ¿Qué hay detrás de estas criptomonedas? ¿Qué aplicaciones prácticas tiene blockchain?

La realidad, es que las criptomonedas no son más que la punta del iceberg de esta tecnología. Blockchain viene a cambiar la forma en la que se conciben muchas aplicaciones que requieren el uso de un intermediario, rompiendo un paradigma en el que generalmente no se suele pensar.

Este paradigma se trata de la forma en la que se otorga la confianza. Estamos acostumbrados en depositar nuestra confianza en un intermediario. Por ejemplo, en un banco, en una red social, una aplicación de reparto a domicilio, un notario... Siempre hay alguien detrás de esa aplicación que se va a encargar de que una transferencia se haga correctamente, de que el mensaje llegue exactamente igual a la otra persona, de que el pedido de comida no sea alterado, o de dar fe. Es esta parte intermedia la que genera la confianza.

¿Pero y si esta confianza no viniese dada por la presencia del intermediario? Blockchain rompe este paradigma de necesitar una parte intermedia para generar la confianza, ya que es el hecho de usar esta tecnología lo que otorga la confianza. Esta tecnología abre la puerta a nuevos modelos de negocio, que no eran posibles antes.

Este trabajo busca encontrar un modelo de negocio viable que utilice blockchain. Pero no se busca cualquier modelo de negocio rentable, sino que el objetivo es encontrar un modelo de negocio que genere valor para la sociedad más allá del aspecto económico, centrándose especialmente en ayudar a la sostenibilidad de la sociedad.

Con este objetivo presente, se analizará la tecnología blockchain y se buscarán modelos de negocio compatibles con este objetivo. Finalmente se convergirá, escogiendo uno de estos modelos y se desarrollará en detalle.

CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA

Este proyecto se ha desarrollado entre octubre de 2020 y julio de 2021, dividiéndose en las siguientes etapas:

- Investigación sobre la tecnología blockchain
- Modelos de negocio potenciales
- Estudio sobre la industria del modelo de negocio seleccionado
- Desarrollo de la solución y modelo de negocio

Siempre y cuando ha sido posible se han contrastado las hipótesis e investigaciones con profesionales de la industria.

En cuanto a la metodología de trabajo general, han sido muy importante las reuniones semanales con Carmen Rider, la directora de este trabajo de fin de máster. En estas reuniones se trataban los avances del proyecto durante la semana y se establecían los objetivos de trabajo para la siguiente.

2.1 INVESTIGACIÓN SOBRE LA TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN

Esta ha sido la primera parte del proyecto. Con el objetivo de aprender sobre la tecnología se ha investigado sobre este tema buscando información entre “White papers” de importantes redes blockchain como Bitcoin o Stellar Lumen. También se ha consultado todo tipo de páginas webs y siempre que se ha podido reuniones con expertos en la industria.

Cabe destacar la complejidad de la tecnología combinada con la falta de disponibilidad de información de calidad disponible en internet ha añadido dificultad a esta sección. Esto se debe a lo relativamente nueva que esta tecnología.

2.2 MODELOS DE NEGOCIO POTENCIALES

Una vez comprendida la tecnología se han buscado los posibles modelos de negocio potenciales y la aplicación de blockchain en cada uno de ellos.

2.3 ESTUDIO SOBRE LA INDUSTRIA DEL MODELO DE NEGOCIO SELECCIONADO

Con los diferentes modelos de negocio seleccionados, se ha seleccionado uno de ellos en base a las ventajas y desventajas de cada uno de ellos, así como por las preferencias personales propias.

Después de seleccionar el modelo de negocio, se ha estudiado la industria en la que se va a entrar, analizando su situación actual.

2.4 DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN Y MODELO DE NEGOCIO

Finalmente se ha desarrollado la solución funcional del producto y para posteriormente realizar el modelo de negocio.

Para el análisis del modelo de negocio y su implantación se hará uso de herramientas estratégicas como el business model canvas, análisis PESTEL, análisis de las 5 fuerzas de Porter y el análisis de las 4Ps, siguiendo una metodología “top-down”, desde el país hasta el producto propio pasando por la industria.

CAPÍTULO 3 TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN

3.1 HISTORIA

Pese a que no ha sido hasta muy recientemente cuando las cadenas de bloques han alcanzado cierta popularidad, lo cierto es que la primera vez que se escribió algo sobre esta idea se remonta a 1991 cuando los investigadores científicos Stuart Haber y W. Scott Stornetta describieron una solución que utilizaba una cadena de bloques para registrar de manera inalterable el tiempo de registro de documentos digitales sin que este registro pudiera ser manipulado.

En 2008 se publicó un “White paper” bajo el seudónimo de Satoshi Nakamoto, que introducía una red de pagos descentralizada que utilizaba la tecnología blockchain, recibía el nombre de Bitcoin. El 3 de enero de 2009, se hizo pública la primera red blockchain, cuando Satoshi Nakamoto “minó” el primer bloque de la red Bitcoin. (Academy Binance, 2020)

Definitivamente la entrada en escena de Bitcoin fue lo que le dio a esta tecnología el impulso que necesitaba para expandirse. Pero Bitcoin no fue la única red que promovió el desarrollo de las cadenas de bloques como tecnología. En 2014, Vitalik Buterin creó la red Ethereum, posibilitando el uso de los contratos inteligentes, otro punto de inflexión en la historia de blockchain.

Observando la *Figura 1*, se puede comprobar como el número total de transacciones en la red Bitcoin ha aumentado de forma exponencial en la última década.

Total Number of Transactions
633,789,073

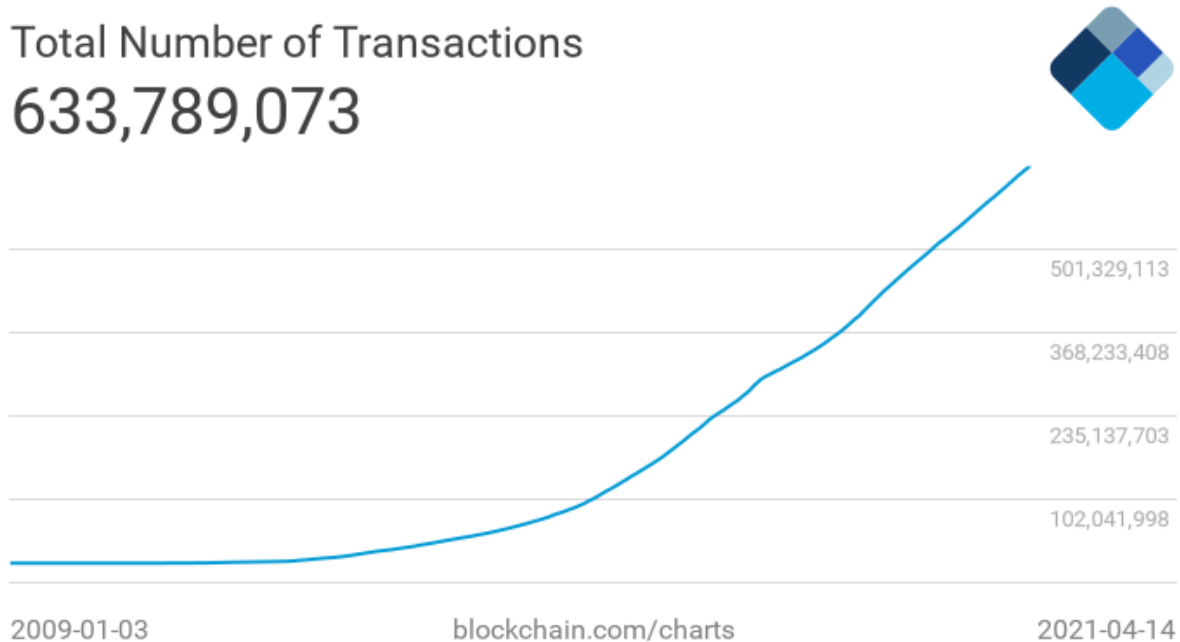


Figura 1 Número total de transacciones en Bitcoin. Fuente: Blockchain.com

El uso práctico y público de esta tecnología apenas supera los diez años, lo que hace que la información disponible sobre cadenas de bloques sea limitada. Aunque por otro lado, el ritmo de avance en el desarrollo de blockchain es muy acelerado y año tras año, sobre todo tras la irrupción de Bitcoin y Ethereum, esta tecnología se acerca más a todos los usuarios con nuevas aplicaciones y usos.

3.2 PROBLEMA DE LOS GENERALES BIZANTINOS

El problema de los generales bizantinos es un dilema al que no se dio solución hasta la creación de Bitcoin por Satoshi Nakamoto (Herrera-Joancomartí, 2014).

Este dilema se recrea en un problema que se sitúa en tiempos del imperio bizantino. Durante una de las campañas de expansión del imperio, el comandante general de los ejércitos llamado Tiberio, se encontró con una ciudad enemiga que por su localización presentaba una posición ventajosa frente a los ejército bizantinos.

Tiberio estaba al frente de 6 ejércitos durante esta contienda, cada uno de ellos encabezado por un general. Tiberio llega a la conclusión de que la única forma de conseguir derrotar a la ciudad

es atacando desde diferentes flancos y todos los ejércitos al mismo tiempo. Si uno solo de los ejércitos ataca decide no a atacar, el imperio bizantino será derrotado por la ciudad enemiga. En consecuencia, los ejércitos rodean la ciudad y los generales esperan la orden de Tiberio para realizar el ataque.

Las distancias entre los 6 ejércitos son muy grandes, por lo que no pueden realizar ningún tipo de señal visual o sonora. Además, esto podría resultar en ser descubiertos por la ciudad enemiga.

Teniendo todo esto en cuenta, la única solución que tiene Tiberio es enviar mensajeros a los otros 5 generales con la hora exacta del ataque, a medianoche. Pero al hacer esto Tiberio se enfrenta a varios posibles problemas.

¿Qué sucedería si uno de los mensajeros es interceptado por la ciudad? Este nunca llegaría y el ejercito al que iba dirigido, nunca sabría a qué hora atacar por lo que el imperio sufriría una derrota. Para solucionar esto, Tiberio decide que los otros generales le manden un mensajero de vuelta confirmando que han recibido el mensaje. Pero se sigue enfrentando al mismo problema de forma duplicada, ya que la ciudad puede seguir interceptando a los mensajeros de vuelta.

Pero el problema podría ser aún peor, se podría dar el caso de que alguno de los mensajeros fuera un traidor al imperio y estar comprado por la ciudad enemiga, de forma que el mensaje que envíe este mensajero sea erróneo a propósito. E incluso aún peor ¿Y si uno de los generales bizantinos es un traidor? ¿Y si el propio Tiberio es un traidor?

Finalmente, ante la falta de otros medios que hagan más fiable la comunicación, Tiberio decide mandar a los mensajeros. Al hacerlo, Tiberio está basando el éxito del ataque en la confianza que deposita en que tanto los mensajeros como los generales harán bien su trabajo, y que no serán interceptados o que no son unos traidores.

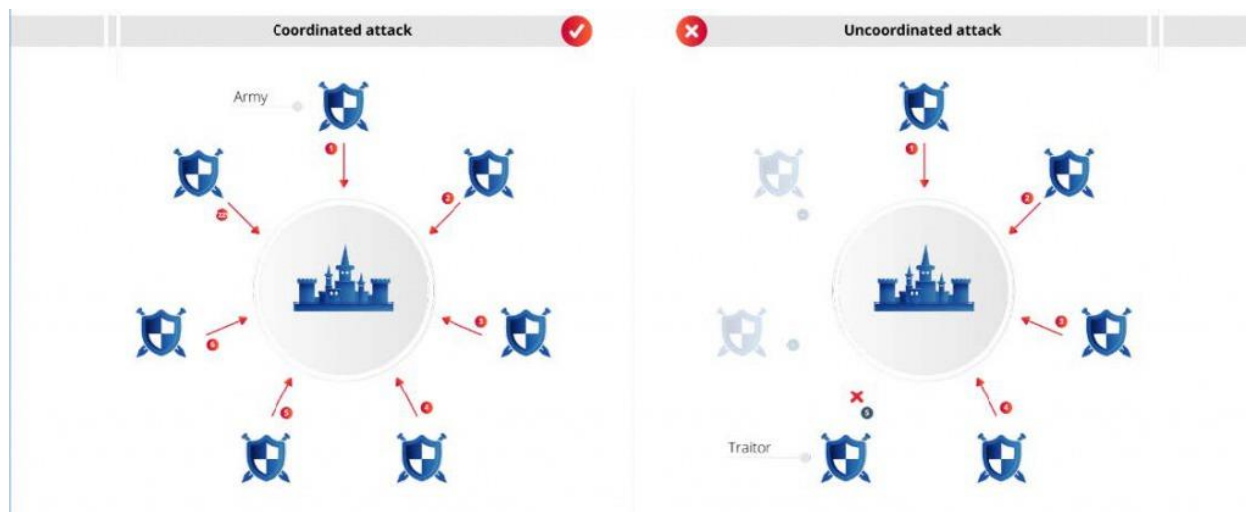


Figura 2 Problema de los generales bizantinos. Fuente: tokeny.pl

Este es el problema que viene a resolver la tecnología blockchain y no se dio por resuelto hasta la aparición de Bitcoin en el año 2008.

Para entender como resuelve blockchain este problema se utilizará una analogía. Los ejércitos serían el equivalente a un ordenador y cada general sería un código informático que se encarga de llevar un libro de contabilidad en el que se registran las órdenes de los ataques. Cada conjunto general-ejército sería lo que se conoce en el mundo blockchain como nodo.

Una de las grandes ventajas de la tecnología blockchain, es que a través de complejos mecanismos matemáticos, explicados en mayor detalle en los siguientes apartados, es capaz de verificar que lo que se apunta en el libro de contabilidad es verdad.

El punto fundamental de esta tecnología es que todos los nodos (generales-ejército), tienen la misma copia del libro de contabilidad, es lo que se conoce como contabilidad distribuida. Cuando uno de los nodos introduce una nueva orden o modificación en el libro de contabilidad, el sistema comprueba que es verdadera a través del mecanismo matemático y finalmente actualiza la copia de todos los nodos de la red.

Como todos los generales tienen la misma copia de libro de contabilidad, todos ellos se regirán por la misma única “verdad”. Por este motivo, los posibles resultados del mismo caso aplicando blockchain son o que todos los generales ataquen, o que ninguno de los generales ataque.

En todos los casos, se llega a un consenso entre todos los generales, que es el fin último de la tecnología blockchain, el consenso sobre lo que es verdad en la red.

Gracias a blockchain no es necesario que Tiberio o el resto de los generales depositen su confianza en terceros (los mensajeros), sino que es la propia tecnología la que otorga la confianza, gracias a que siempre hay un consenso entre todos los participantes.

Esta tecnología blockchain se puede aplicar tanto en el problema de Tiberio como cuando una persona hace una transferencia bancaria a otra. Al todos tener la misma verdad, no es necesario que una tercera parte (el banco) identifique si tengo fondos para realizar la transferencia, ya que la otra persona ya sabe que los tengo, pues todos tenemos la misma copia del “libro de contabilidad”.

3.2 ¿QUÉ ES EL BLOCKCHAIN?

Blockchain es una base de datos en la que se registran de manera descentralizada las operaciones realizadas, formada por muchos nodos. A diferencia de como sucede normalmente, el registro no se lleva a cabo en un único lugar, sino que tiene lugar en una cadena de bloques, de la cual todos los nodos disponen de una copia idéntica. Es importante, que ninguna de las copias posea un valor superior al de las demás, en tal caso se estaría creando una figura superior dentro de la red y dejaría de ser descentralizada. Aunque sí que es cierto que existen redes blockchain que tienen usuarios con mayor poder que otros.

La información a registrar, transacciones de criptomoneda en el caso de Bitcoin, se almacenan en los famosos bloques, los cuales están ligados unos con los otros, lo que hace que si alguien quiere cambiar uno de ellos, tenga que cambiar todos los siguientes. Pero para entender esto es fundamental conocer el funcionamiento a alto nivel de la función Hash.

3.2.1 Función Hash

Una función criptográfica hash, usualmente conocida como “hash” es un algoritmo matemático que transforma cualquier bloque arbitrario de datos en una nueva serie de caracteres con una longitud fija. Independientemente de la longitud de los datos de entrada, el valor hash de salida tendrá siempre la misma longitud. (Kaspersky, 2014).

Aplicando esta función a blockchain, se trata de una función que tiene como entrada uno de los bloques de la cadena y como salida una longitud de dígitos determinada. En el caso de Bitcoin se utiliza el SHA-256, un hash de 64 dígitos hexadecimales. (Preukschat, 2014).

En la *Figura 3* se puede ver un ejemplo de cómo funciona esta función. Independientemente de lo que se introduzca a la entrada de la función, la salida siempre tendrá la misma longitud. Además, una entrada tiene asociado un único hash y por tanto dos entradas diferentes no pueden generar la misma salida

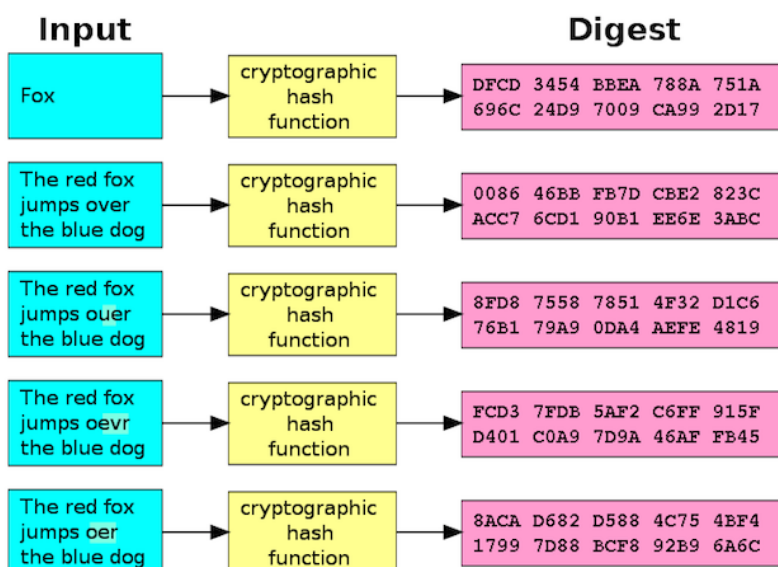


Figura 3 Función Hash Genérica. Fuente: Kaspersky

Otra característica del hash es que es unidireccional, es decir, introduciendo el bloque se puede obtener su hash, pero introduciendo el hash, no se puede obtener el bloque.

Una forma de verlo sería como la huella digital que contiene el bloque, para cambiar la huella tienes que cambiar la información, y de la huella no se puede sacar la información, pero de la información sí que se puede obtener la huella.

3.2.2 Seguridad en blockchain

Uno de los pilares fundamentales de la tecnología de la cadena de bloques es la seguridad que otorga. Los registros que se toman en blockchain son prácticamente inalterables.

Visto desde un alto nivel, esta inalterabilidad que le confiere tanta confianza a este tipo de redes viene dada por dos motivos:

1. El hecho de que cada nodo posea una copia idéntica de la cadena de bloques hace que para poder escribir algún cambio en la red o introducir información nueva, como norma general el 50% de la red más uno debe estar de acuerdo con la información escrita.

Poniendo un ejemplo práctico, si uno de los nodos quisiera modificar de manera maliciosa uno de los bloques de la cadena y lo consiguiera, el resto de los nodos de la red comprobaría que esa copia no es la misma de la que ellos disponen y expulsarían al nodo que ha intentado introducir ese cambio.

2. El segundo motivo por que le confiere tanta seguridad es por cómo se escriben los bloques, ya que todos los bloques están ligados con el anterior. Esto se describe con más detalle en el apartado 3.2.3 Escritura de bloques.

3.2.3 Escritura de bloques

Para explicar este apartado se utilizará el ejemplo de Bitcoin, que de manera genérica se puede extrapolar a otras redes blockchain.

La primera vez que se pudo leer sobre Bitcoin fue en 2008, Satoshi Nakamoto publicó el artículo “*Bitcoin a Peer-to-Peer Electronic Cash System*”.

En este artículo Bitcoin se situaba como un método de pago alternativo a los patrones utilizados normalmente. Nakamoto afirma que los métodos de pago actuales tienen ciertos niveles de fraude de manera inevitable. Son muchos los intentos por parte de los reguladores por controlar el fraude, como en el año 2019 cuando se introdujo la nueva normativa europea PSD2 que trata de regular los métodos de pago tradicionales con el objetivo de reducir los niveles de fraude.

Para ello hay que entender el contexto de Bitcoin, por lo que hay que pensar cómo funciona el sistema bancario actualmente. Por un lado, tenemos al banco central de un país que emite cierta cantidad de moneda fiat de manera anual, ese dinero llega a los usuarios finales que realizan transacciones unos con otros.

Cuando dos personas realizan una transacción entre ellas, la persona que recibe no tiene forma de saber que la persona que emite tiene fondos suficientes, o que no está utilizando el mismo

dinero dos veces. Es aquí donde entran en juego las terceras partes, que en este caso particular serían los bancos. Es el banco el que certifica que la persona que emite la transacción tiene los fondos necesarios, y es quien garantiza que el receptor vaya a recibir el ingreso.

Pero esta eliminación de intermediarios no es lo único que viene a solucionar Bitcoin. El hecho de que exista la posibilidad de fraudes en las transacciones convencionales imposibilita que estas sean irreversibles. Por lo tanto, es necesaria una infraestructura para buscar el fraude y para revertir una transacción fraudulenta, lo cual no hace más que aumentar los costes.

3.2.4 Funcionamiento de la red Bitcoin

En esta red se producen las transacciones que los usuarios de esta deseen, a través de la criptomoneda Bitcoin.

En la red Bitcoin lo que se almacena en la cadena de bloques son las transacciones que han tenido lugar, quedando así registradas. Cada bloque se va llenando de transacciones hasta que por memoria no entran más en ese bloque, es en ese momento cuando se procede al minado del bloque.

De manera esquemática cada bloque está formado por tres partes:

- El Hash del bloque anterior
- Las transacciones que se registran
- La incógnita a resolver

Es importante recordar que como se ha descrito en la sección 3.2.1 Función Hash, cada bloque se introduce en la función Hash y se obtiene el hash de ese bloque particular, teniendo cada bloque un hash único.

En la *Figura 4*, se muestra una simplificación de cómo están formados cada uno de estos bloques.

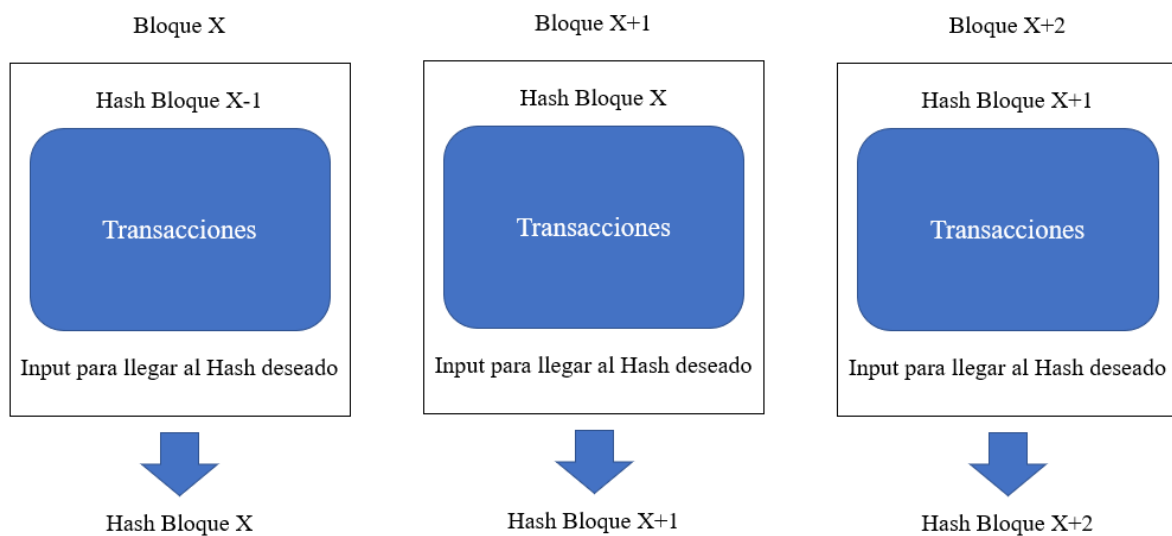


Figura 4 Cadena de bloques simplificada. Fuente: elaboración propia

Cuando han tenido lugar las suficientes transacciones como para llenar un bloque, los conocidos como “mineros”, se dedican a escribir las transacciones en el bloque.

Lo primero que escriben es el hash del bloque anterior, lo que hace que cada bloque esté directamente relacionado con el anterior. Lo siguiente que escriben son las transacciones que han tenido lugar entre usuarios de la red. Finalmente, escriben es la famosa incógnita que tienen que resolver los mineros para cerrar el bloque.

Esta incógnita consiste en introducir los dígitos adecuados para que el hash que se genere del bloque comience por una determinada cifra de 0 (leyendo el hash como bits) establecida por Bitcoin. Como la función hash es unidireccional, es decir, que del bloque se puede obtener el hash, pero del hash no se puede obtener el bloque, la única forma de realizar este proceso inverso es mediante la prueba y error. Por lo que cada minero utiliza su CPU para probar diferentes inputs de bloque en la función hash, hasta que se obtenga como salida un hash con tantos ceros como la red Bitcoin indique. Este método de minado es lo que se conoce como “proof-of-work”.

Bitcoin fija que cada bloque se cierre (“mine”) de media cada 10 minutos. Por lo que en función de la cantidad de potencia de minado activa, establecerá más o menos ceros al inicio del hash, es lo que se conoce como grado de dificultades. El bloque no tiene por qué minarse en 10

minutos exactos ya que depende del azar, pero la media de minado de bloques será aproximadamente 10 minutos

La forma de medir esta capacidad de cálculo de la red es en hashes por segundo, es decir los hashes que se pueden probar cada segundo. En la *Figura 5*, se puede comprobar la potencia actual de cálculo hashes en Bitcoin, la cual es de 164,4 EH/s, es decir, 164.4×10^{18} hashes probados cada segundo. Como se muestra esta potencia va cambiando en el tiempo, dependiendo del número de mineros activos, así como de su capacidad de cálculo.

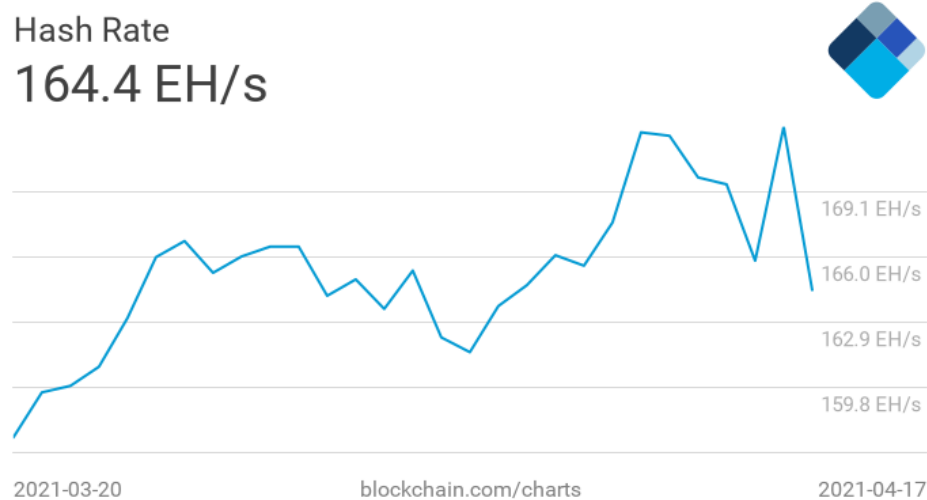


Figura 5 Potencia de cálculo de hashes en Bitcoin. Fuente: blockchain.com

Los mineros, para poder cerrar los bloques consumen recursos, principalmente tiempo de CPU y energía eléctrica. Por tanto, para que estos mineros completen los bloques requieren de un incentivo, el cual es directamente económico. Cuando un minero encuentra la combinación que consigue que el hash del bloque tenga los requerimientos necesarios, el sistema le otorga al minero una cantidad de bitcoins. De hecho, es el propio minero el que escribe en bloque que trata de minar una transacción más, que va desde el sistema, hasta el minero.

Esta es la forma en la que se introducen nuevos Bitcoins en el sistema. Como curiosidad cabe destacar que la cantidad de Bitcoins a repartir está limitada a 21 millones (Nagarajan, 2021). Esto es una particularidad de la red Bitcoin.

En un principio, la cantidad recibida por minar un bloque eran 50 bitcoins, y se fueron reduciendo a la mitad, pasando por 25 BTC, 12,5 BTC y desde febrero de 2021, 6,25 BTC (Nagarajan, 2021). Esta recompensa equivale a 290.704,98€ a fecha de 18 de abril de 2021 (Morningstar, 2021).

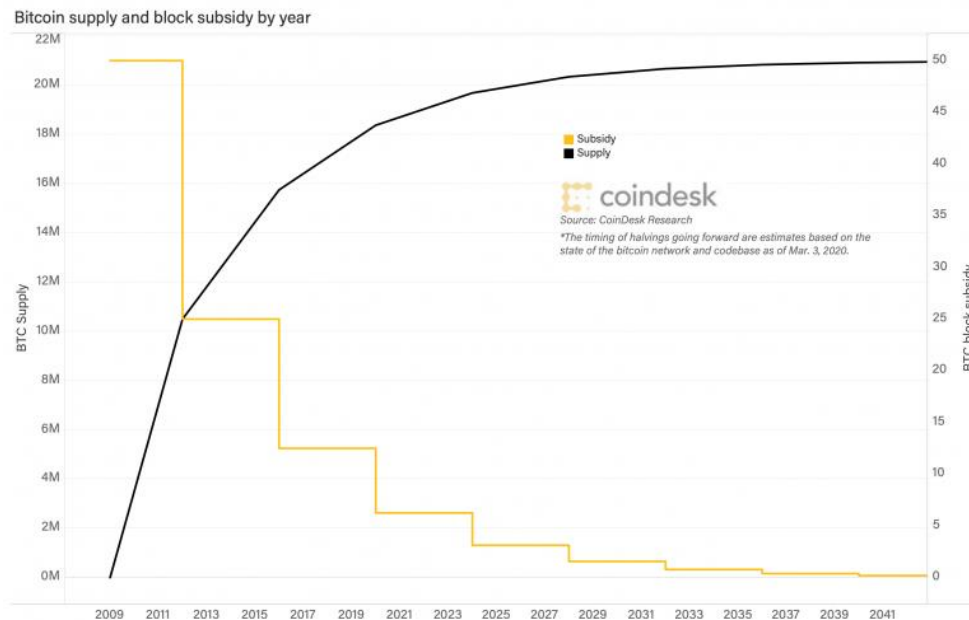


Figura 6 Provisión y recompensa de Bitcoin. Fuente: Coindesk

La apreciación del bitcoin ha hecho que nuevos mineros hayan querido introducirse en la red para poder obtener un beneficio económico. Esto se puede observar en la Figura 7 donde se muestra el crecimiento exponencial que ha tenido la potencia de cálculo de esta red.

Hash Rate
172.1 EH/s

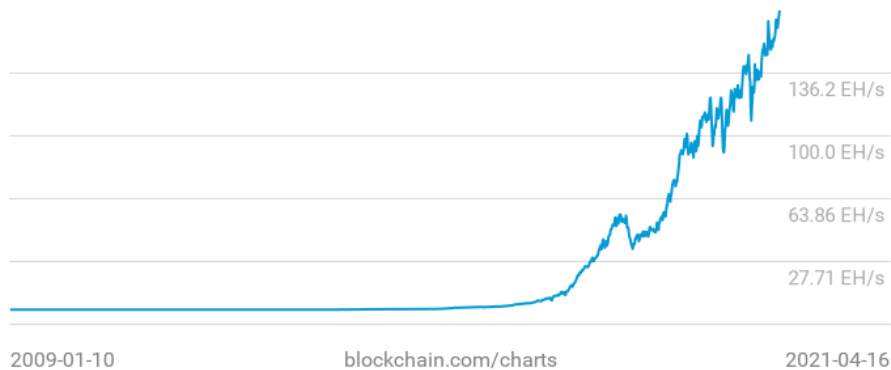


Figura 7 Evolución de la potencia de cálculo de Bitcoin. Fuente: blockchain.com

Cuando un nodo consigue el hash con las condiciones que se le piden, el resto de los nodos validan que el hash sea correcto y comprueban que las transacciones que se han escrito son las que se han realizado, así como que los usuarios de las transacciones tienen los fondos necesarios para realizarlas y que no se realiza ningún doble gasto.

A modo de resumen, la validación sucede de la siguiente manera (Nakamoto, 2008)

- Las transacciones nuevas se transmiten a todos los nodos.
- Cada nodo recoge todas las transacciones en un bloque.
- Cada nodo trabaja en resolver una proof-of-work compleja para su bloque.
- Cuando un nodo resuelve una proof-of-work, transmite el bloque a todos los nodos.
- Los nodos aceptan el bloque si todas las transacciones en él son válidas y no se han gastado con anterioridad.
- Los nodos expresan su aceptación del bloque al trabajar en crear el siguiente bloque en la cadena, usando el hash del bloque aceptado como hash previo.

3.2.5 Tipos de redes blockchain

Se puede establecer la siguiente clasificación de redes blockchain (Iredale, 2021):

- Blockchains públicas: Son aquellas en las que cualquiera puede unirse y tomar parte del consenso. Se puede asumir que son las más descentralizadas e inmutables. Las transacciones son anónimas, inmutables y públicas (cualquiera puede verlas, pero no se puede saber la identidad de quien las ha hecho). Este es el caso de las redes más famosas como es el caso de Bitcoin y Ethereum.

- Blockchains privadas: Es creada por una organización o entidad que es quien tiene la autoridad final sobre la red. Es la propia organización quien decide quien se puede unir a la blockchain, así como que nodos pueden ver que bloques.

Es común que este tipo de redes esté desarrollado por una empresa para el desarrollo de su negocio. Pero destaca especialmente las redes blockchain que están siendo desarrolladas por las grandes empresas tecnológicas como es el caso de Microsoft o AWS, para su venta a otras empresas que no tienen los recursos para desarrollar estas redes.

Estas soluciones están desarrolladas sobre redes públicas como Ethereum o Hyperledger, que también permiten desarrollar redes privadas.

Pero el punto fuerte del desarrollo de estas redes blockchain por parte de las grandes tecnológicas está en la interfaz que desarrollan para el uso de la red, simplificando su manejo para el usuario. Esto recuerda mucho a cuando Apple introdujo los iconos para facilitar el manejo del ordenador, comparado con los comandos que había que introducir antes.

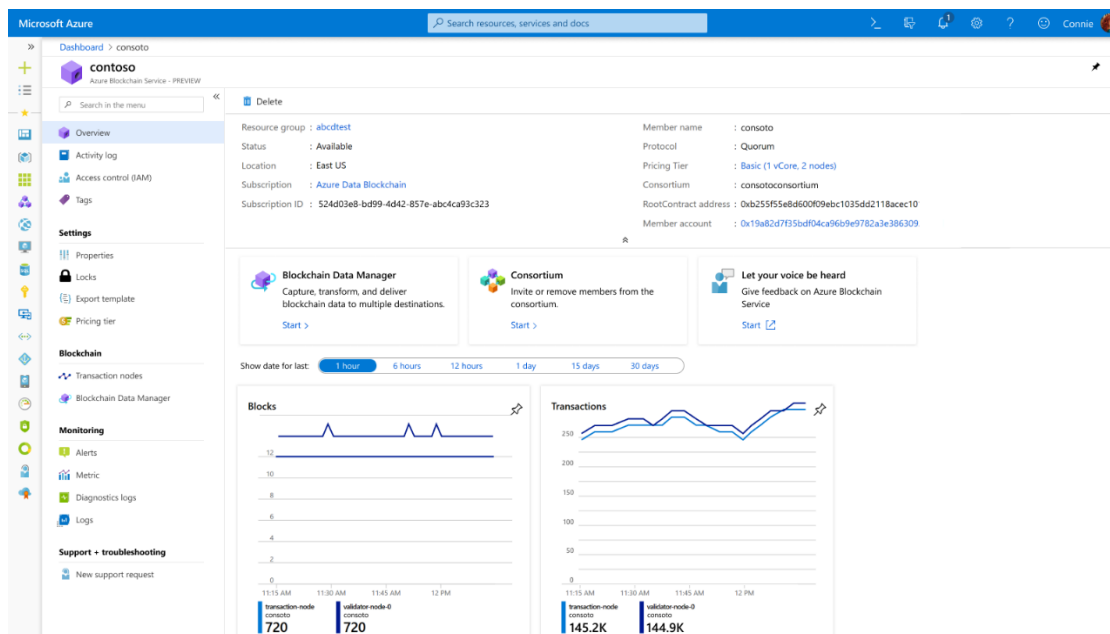


Figura 8 Interfaz de uso de blockchain Microsoft Azure. Fuente: Microsoft Azure

- Blockchain híbrida: Este tipo de redes mezcla funcionalidades de las redes públicas y privadas, pudiendo hacer restricciones en cuanto al acceso a la red o la visibilidad de los bloques, según las preferencias del creador de la red.

3.3 MECANISMOS DE CONSENSO

Para entender el funcionamiento de blockchain, se ha utilizado el mecanismo de consenso de Bitcoin basado en el poder computacional. Pero existen otros mecanismos para que una red distribuida llegue a un consenso. Entre estos mecanismos destacan los siguientes:

- Proof of stake
- Proof of Authority
- Federated Byzantine Agreement (FBA)

Antes de explicar en detalle cada uno de los diferentes mecanismos de consenso, se procede a explicar las características generales de un mecanismo de consenso en una red distribuida.

3.3.1 Teorema de la imposibilidad FLP

Derivado del teorema de la imposibilidad FLP (Michael J. Fischer, 1985), un mecanismo de consenso descentralizado asíncrono debe tener preferencia por dos de las siguientes características que están presentes en una red blockchain:

- Tolerancia a fallos
- Seguridad
- Continuidad

En consecuencia, la red debe sacrificar una de las características en favor de las otras dos. Esto no quiere decir que el sistema carezca de una de las tres propiedades, sino que habrá dos de ellas que serán prioritarias sobre la tercera.

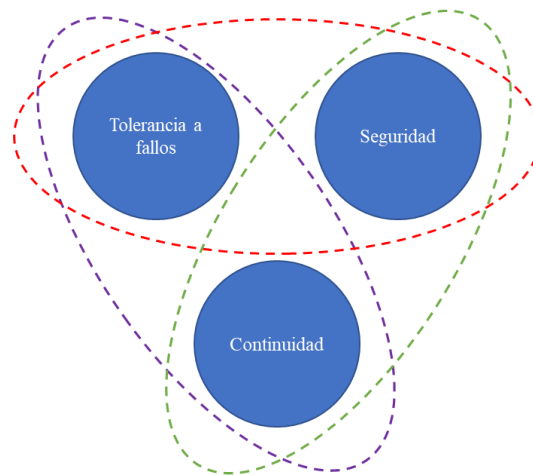


Figura 9 Imposibilidad FLP. Fuente: Elaboración propia

Tolerancia a fallos

La tolerancia a fallos hace referencia a la tolerancia a las fallas bizantinas. La tolerancia a las fallas bizantinas es la propiedad de un sistema a resistir a los posibles fallos derivados del problema de los generales bizantinos, de forma que pueda seguir funcionando a pesar de que algún nodo falle o actúe de manera maligna (Binance Academy, 2021).

Esto significa que la red puede sobrevivir ante el fallo de uno de los validadores (por ejemplo, cuando introduce cambios maliciosos).

La mayoría de las redes blockchain, escogen esta propiedad como una de las dos con mayor preferencia ya que es una de las características fundamentales de blockchain, dejando la elección entre seguridad y continuidad.

Seguridad

Seguridad y continuidad hacen referencia al mismo problema, pero visto desde puntos de vista diferentes. La seguridad hace referencia a que no suceda algo incorrecto dentro de la red.

Este concepto de incorrecto que puede suceder es que aparezca una bifurcación de la red, creándose dos copias validas, de forma que una parte de la red siga una copia y la otra parte de la red siga la otra copia.

Si una red tiene preferencia por esta propiedad, en caso de que se de este error, la red parará y se tendrá que resolver el problema antes de poder continuar con la validación de nuevos bloques en la cadena.

Continuidad

La continuidad quiere decir que siempre sucederá algo, es decir que cerrar los bloques siempre será una preferencia y que por tanto, se puede dar el caso de que la red se bifurque una parte de los nodos tenga una copia y la otra parte de la red la otra.

Diferencia entre seguridad y continuidad

Como se ha mencionado antes, la decisión a tomar más común entre las diferentes redes blockchain es escoger entre seguridad o continuidad.

En el caso de las redes que escogen la seguridad, ante un potencial bifurcación, no se tomará una decisión hasta que haya consenso completo, tal y como se muestra en la *Figura 10*.

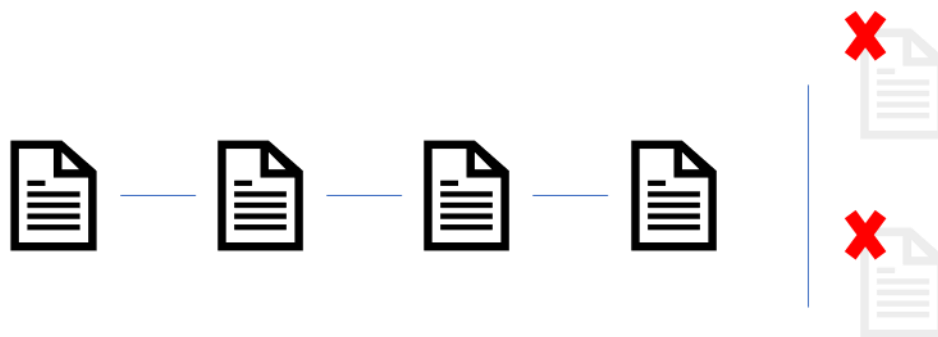


Figura 10 Preferencia por seguridad frente a continuidad. Fuente: Elaboración propia

En el caso de que la continuidad frente a la seguridad se estará dando preferencia a que la cadena de bloques se cierre. Un posible caso ejemplo para esta situación sería que la conexión a internet de la cuarta parte de la red quedará aislada de los otros tres cuartos por el motivo que fuera.

En este caso, como se muestra en la *Figura 11*, coexistirían dos copias de la cadena de bloques válidas.



Figura 11 Preferencia por continuidad frente a seguridad. Fuente: Elaboración propia

Compensación de la propiedad menos preferida

Como se ha comentado antes, el hecho de que se anteponga en última instancia una propiedad sobre otra, no quiere decir que no se esté cuidando la tercera propiedad.

Una forma de compensar esta tercera variable es a través de la latencia. La latencia es la rapidez con la que las transacciones son incluidas en la red. Por ejemplo, Bitcoin es una red blockchain que favorece la continuidad frente a la seguridad, por lo que una de las medidas para compensar la seguridad es la latencia.

El tiempo que tarda un bloque de bitcoin en cerrarse y validarse es aproximadamente 10 minutos, pero para tener seguridad de que una transacción se ha completado en esta red, es necesario esperar a que se cierren seis bloques, lo cual equivale a aproximadamente una hora.

Al introducir mayor tiempo de cerramiento de bloques hay más seguridad en que todas las transacciones se han incluido y que por tanto no se cometen errores.

En cambio, una red que favorezca la continuidad, se puede permitir periodos de confirmación de transacción mucho más pequeños (del orden de segundos), ya que en caso de que haya un error la red se parará y no se producirá una bifurcación de la cadena.

3.3.2 Proof of Work

Este mecanismo es probablemente el que más fama tenga ahora mismo, ya que es el mecanismo de consenso utilizado por Bitcoin y Ethereum (aunque Ethereum está trabajando en una red Proof of Stake).

Como se ha explicado más en detalle en la sección “Funcionamiento de la red Bitcoin”, este mecanismo basa el consenso en resolver un complejo problema computacional, lo que hace que el poder de computación sea una de las claves de este mecanismo.

Curiosamente la primera vez que salió este concepto, fue en un artículo para combatir el “spam” en el email en 1992 (Dwork C., 1992), pero no fue hasta el año 2008, en el que Bitcoin le dio una aplicación más notable y práctica.

Las redes que utilizan este tipo de mecanismo de consenso tienen un consumo energético muy elevado, ya que todos los mineros de la red ponen su poder computacional a funcionar, de forma que el único gasto energético válido es el del minero que consigue resolver el problema. El resto de los mineros (todos menos uno), habrán realizado un elevado gasto energético en vano.

De acuerdo con el “Bitcoin Electricity Consumption Index” (University of Cambridge, 2021), únicamente la red Bitcoin consume de manera anual 143 TWh. Para poner en contexto este dato, resulta muy útil observar la *Figura 12*.

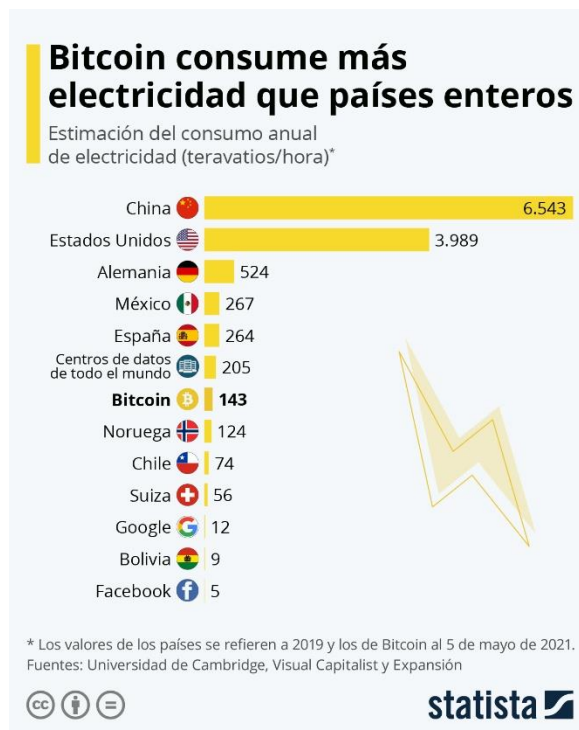


Figura 12 Consumo energético de Bitcoin comparado con países. Fuente: Statista

El consumo energético de esta red es superior al consumo energético de un país como Noruega, lo cual da mucha perspectiva sobre el mal uso que se hace de la energía eléctrica en una red con mecanismo Proof of Work.

Este hecho plantea un gran problema sobre la escalabilidad de este tipo de redes, ya que cuanto más extensión tenga, mayor será el consumo energético, lo que hace que no sea sostenible en el largo plazo

Este mecanismo también es criticado porque, aunque se trata de un sistema descentralizado, es cierto que se puede decir que tiende a una centralización, principalmente debido a los siguientes motivos:

- Economías de escala
- “Hubs” de minado

Minar los bloques en una red como Bitcoin, requiere inversión en el equipo necesario para poder realizarlo, por lo que de por si aquellos mineros con mayor capacidad económica podrán comprar mayor material para minar.

Esta situación se ve afectada por las economías de escala, puesto que aquellos mineros que puedan realizar una mayor inversión tendrán costes menores, lo que hará que por un menor precio unitario tengan mayor capacidad computacional.

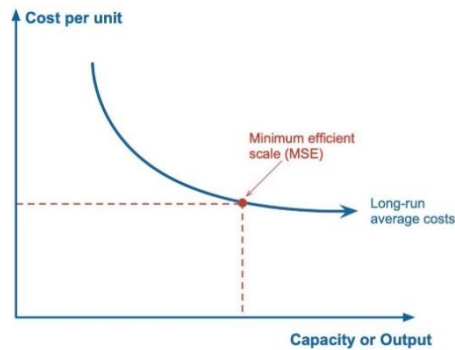


Figura 13 Economías de escala. Fuente: Strategy for Executives

Esto hace que aquellos mineros con mayor poder computacional cierren más bloques, recibiendo más recompensas, lo cual hace que puedan invertir aún más en poder computacional, con lo que pueden conseguir más recompensas, repitiéndose el bucle.

Además, dado que ha mayor poder computacional más probabilidades de cerrar el bloque y recibir la recompensa, los mineros de Bitcoin se agrupan en “pools” para sumar fuerzas juntos y conseguir mejores resultados en la minería.

La *Figura 14* muestra la capacidad de minado de los diferentes pools existentes. De esta información se puede concluir que 4 de estos “pools” tienen más del 50% de la capacidad computacional, lo cual hace que se centralice el sistema porque unos pocos son los que van a validar gran parte de las transacciones. Además, es más susceptible de sufrir el conocido ataque del 51%, explicado en detalle más adelante.

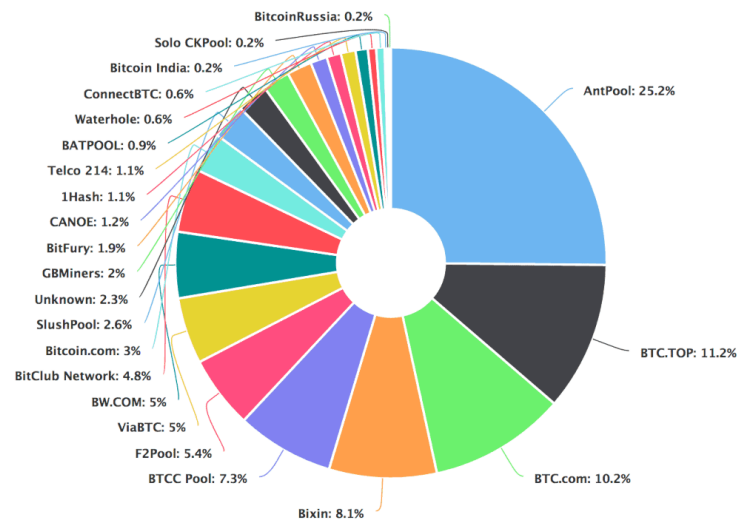


Figura 14 "Pools" de minado de Bitcoin por poder computacional. Fuente: bit2meacademy

3.3.3 Proof of Stake

En 2011, un usuario llamado QuantumMechanic introdujo por primera vez el concepto de Proof of stake en un foro de Bitcoin conocido como “Bitcointalk” mostrado en la Figura 15.

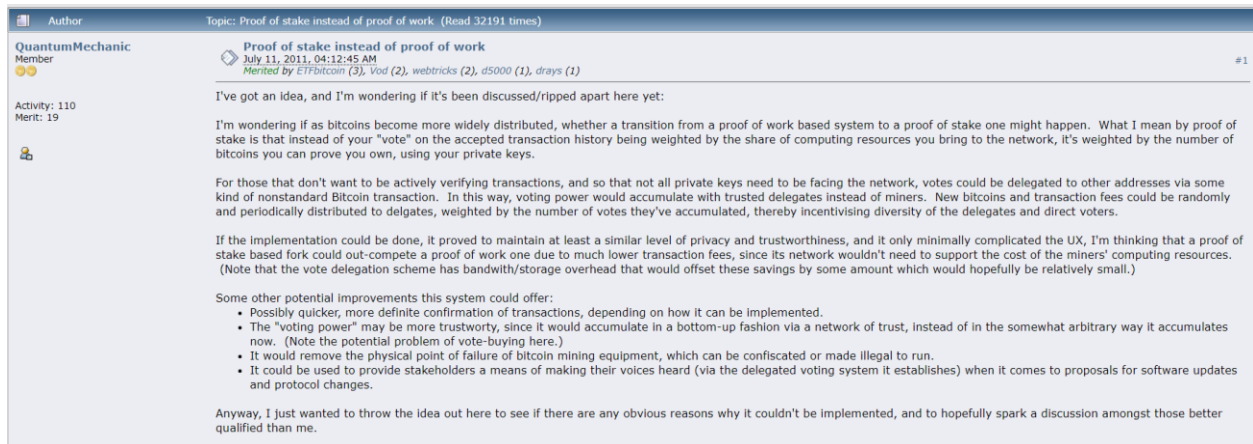


Figura 15 Aparición del concepto Poof of Stake. Fuente: Bitcointalk.com

Uno de los principales objetivos que tiene este mecanismo de consenso es evitar el derroche de energía que se produce con proof of work.

Las redes que utilizan este sistema distribuido seleccionan de manera aleatoria quien será el que valide el bloque. En lugar de tener que resolver un complejo problema a base de capacidad

de hash, es el sistema quien elige el nodo que cerrará el bloque de manera aleatoria (Bit2me Academy, s.f.).

Este hecho hace que las redes que utilizan proof of stake como mecanismo de consenso consuman mucha menos energía comparada con aquellas redes que usan proof of work.

Ethereum se está transformando en una red PoS y se estima que la implementación de PoS en Ethereum hará que la energía consumida por esta red, actualmente 44,48 TWh, se reduzca un 99,95% (Beekhuizen, 2021).

En realidad, no es completamente aleatoria esta selección ya que las probabilidades de que un nodo sea escogido dependerán de su participación. Esta participación consiste en que los usuarios que quieran validar bloques deben depositar una cantidad de criptomoneda a modo de fianza.

Los nodos con depósitos más grandes serán los que tengan mayor probabilidad de ser seleccionados por el algoritmo para validar el siguiente bloque de la cadena. La forma de asegurar que los nodos seleccionados para la validación no realizan una infracción o cambio malicioso, es retirando la fianza que han depositado si cometen alguna infracción en la validación.

La *Figura 16* muestra un sencillo ejemplo de las probabilidades que podrían recibir los nodos validadores en función del número de monedas que tengan en depósito.

Ejemplo: Red de Inversores

GRUPO DE INVERSORES	INVERSORES	MONEDAS EN RESERVA	TOTAL MONEDA DE RESERVA	% PARTICIPACIÓN
GRUPO A	50	1,000	50,000	15.38%
GRUPO B	30	2,500	75,000	23.08%
GRUPO C	20	10,000	200,000	61.54%
TOTAL	100	325,000	325,000	100.00%

Figura 16 Ejemplo probabilidad de validar un bloque en Proof of Stake. Fuente: Bit2me

Este depósito no puede ser retirado hasta tiempo después de haber realizado la última transacción para así asegurar que se puede castigar a los validadores malignos si su infracción no se descubre hasta tiempo después.

Como recompensa por cerrar los bloques, el nodo validador recibe las comisiones asociadas a las transacciones que hay dentro del mismo.

Siempre y cuando el depósito realizado sea inferior a las comisiones que se llevarían por cerrar un bloque, se puede estar seguro de que los nodos no validaran transacciones fraudulentas.

Es cierto que cuanto mayor sea la participación (el “stake”) de los nodos validadores más probabilidades tienen de ser escogidos, lo cual va en favor de los que tenga mayor poder económico. Pero este modelo es más justo que proof of work ya que los nodos validadores no pueden tomar ventaja de las economías de escala, sino que su probabilidad de ser escogido es proporcional al depósito realizado.

Otra ventaja de esta red es que, para ser un nodo validador, no se necesita realizar una inversión inicial en equipamiento, sino que con un simple ordenador se puede realizar. Esto hace que más gente se anime a crear un nodo, haciendo que la red sea aún más descentralizada.

La Figura 17 muestra cómo, aunque en ambos casos mayores inversiones, mayores recompensas, PoS lo hace de manera lineal, lo que incentiva a personas a crear un nuevo nodo de la red.

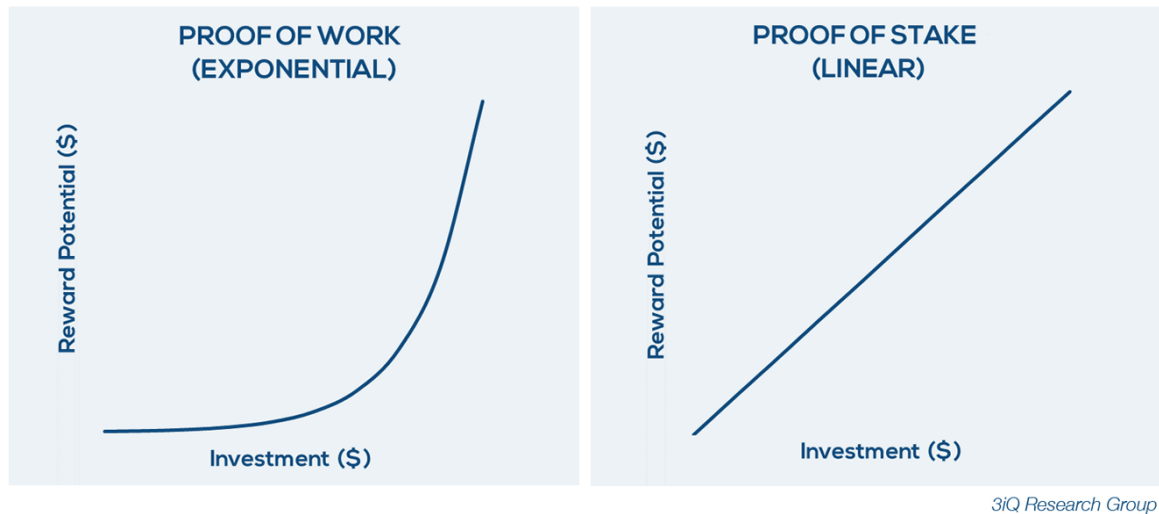


Figura 17 Recompensa vs inversión para los mineros/validadores. Fuente: Territorio Blockchain

Proof of stake tampoco está a salvo del ataque del 51%. Es cierto que, si un usuario comprara el 51% de la criptomoneda de la red, este controlaría el funcionamiento de la red. Este mecanismo tiene dos puntos de defensa contra este posible ataque.

- Si un usuario quiere corromper una red debería desembolsar una grandísima cantidad de dinero para poder hacerse con el 51% de toda la criptomoneda de la red en circulación, lo que hace que el ataque sea poco rentable.
- Por otro lado, si una persona compra el 51% de toda la criptomoneda en circulación, por pura ley de la oferta y la demanda, el valor de este activo se verá considerablemente reducido.

3.3.4 Proof of Authority

Este mecanismo de consenso es más sencillo que los dos anteriores. El creador (o una entidad superior, normalmente la empresa detrás de la red) de la red define unos nodos que serán quienes validen las transacciones, los cuales serán los únicos con capacidad para validar los bloques (Bit2me Academy, s.f.).

En este caso, la propia reputación de los nodos validadores es la que garantiza que no validarán los bloques con algún tipo de cambio malicioso. Por este motivo, las identidades de los nodos validadores deben ser públicas.

Los nodos que hacen las transacciones se las comunican a los nodos validadores, siendo estos los que validen las transacciones cerrando los bloques. Finalmente, estos les mandarán de vuelta los bloques que han validado al resto de nodos para que tengan el registro completo de la cadena de bloques.

Para que un bloque se valide, un porcentaje superior al 50% (este porcentaje será fijado de antemano, y el cual es común que sea del 66%) de los nodos validadores debe estar de acuerdo en que las transacciones en el bloque a validar son correctas.

El gran problema de las redes que utilizan proof of Authority como mecanismo de consenso es que se trata de redes que, aunque sí que se pueden considerar como descentralizadas, están mucho más centralizadas que las otras redes explicadas.

Para hacerse nodo validador se debe contar con el apoyo de la entidad superior de la red, lo cual hace que no sea tan descentralizado. Además, el hecho de que unos pocos sean los que hagan de nodos validadores obliga a que estos tengan una gran reputación.

3.3.5 Federated Byzantine Agreement

En este tipo de redes no existe una autoridad central que escoge quienes son los nodos validadores. En lugar de esto, los nodos escogen quienes son sus nodos validadores recomendados, formando lo que se conoce como “quorum slice”.

La validación de las transacciones que tengan que ver con un nodo debe ser realizada por sus nodos de confianza.

En la *Figura 18*, se muestra el resultado de que nodo sería el apto para validar los bloques en este caso particular. Si el nodo 5 quiere validar una transacción al nodo 1, su nodo validador en común es el 3, por lo que será este quien valide la transacción.

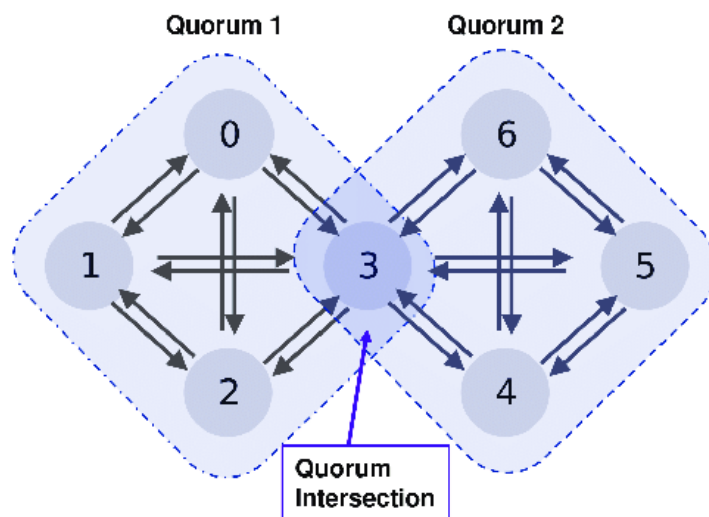


Figura 18 "Quorum slices" FBA. Fuente: ResearchGate

Al no existir la autoridad central que decida quienes son los nodos validadores, la red favorece la descentralización, pudiendo convertirse en usuario validador cualquier nodo.

La forma de este mecanismo de resistir al ataque del 51% es que por muchos nodos nuevos que creen, estos no podrán validar transacciones de otros si no son añadidos a sus “quorum slices”.

El único problema que genera este tipo de mecanismos es que puede llevar a bifurcaciones de la cadena de bloques más fácilmente, por lo que es normal que dado el teorema de imposibilidad FLP comentado con anterioridad, este tipo de redes antepongan la seguridad a la continuidad.

3.3.6 Ataque del 51%

El ataque del 51% se basa en que, si el 50% más uno de la red se pone de acuerdo en introducir cambios malignos o falsificar alguna de las transacciones y darlas como verdaderas, podrán hacerlo.

Controlar el 51% de la red hace referencia a la capacidad de validar los bloques. En el caso de Bitcoin, controlar el 51% de la red supone tener bajo la dirección de la misma persona o entidad el 51% de la capacidad de hash. De esta forma, por pura probabilidad, la mayoría de los bloques serán validados por esta entidad maligna y en consecuencia se hará con el poder de la red.

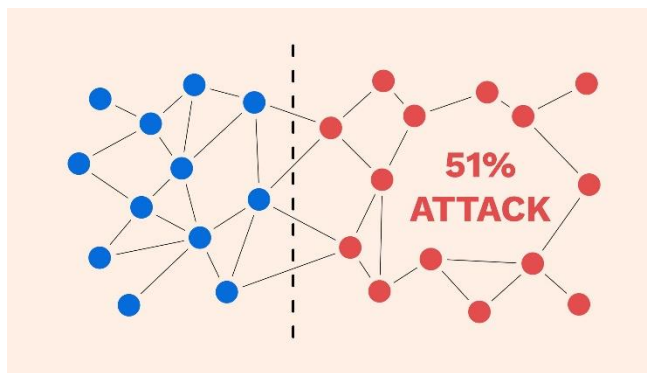


Figura 19 Ataque del 51%. Fuente: Bitpanda

En el caso de redes con mecanismos PoS, controlar el 51% de la red supone tener 51% de toda la criptomoneda de la red. En PoA consistiría en controlar el 51% de todos los nodos que actúan como validadores.

Finalmente, en FBA controlar el 51% se podría dar si se controlan las “quorum slices” indicadas, con las intersecciones adecuadas.

Los diferentes mecanismos de consenso tienen medidas para contrarrestar este ataque. En el caso de PoW y PoS la dificultad es económica ya que requeriría de una inversión que hace que no merezca la pena el esfuerzo económico en comparación a los posibles beneficios que se sacarían de un ataque así.

En cambio, en el caso de PoA y FBA la defensa a este ataque no viene dada por el esfuerzo económico. En PoA viene dada por la confianza en la autoridad central y la de los nodos validadores. En FBA, el hecho de que los nodos indiquen cuáles son sus validadores de confianza hace imposible que se pueda dar este ataque si los nodos existentes no establecen a los “nodos invasores” como nodos de confianza para la validación.

3.3.7 Ejemplo de redes y mecanismos de consenso

La *Tabla 1* muestra ejemplos de algunas de las redes más famosas según el mecanismo de consenso que utilicen.

Mecanismo de consenso	Red
PoW	  ethereum
PoS	 CARDANO
PoA	 ALASTRIA
FBA	 Stellar

Tabla 1 Ejemplos de redes por su mecanismo de consenso. Fuente: Elaboración propia

3.4 CONTRATOS INTELIGENTES

El concepto de contratos inteligentes (“smart contracts” en inglés) lo definió por primera vez el ingeniero informático y jurista norteamericano Nick Szabo ya en 1994 como “un protocolo informático capaz de ejecutar cláusulas de un contrato” (ESIC Business & Marketing School, 2018).

La definición más sencilla de contrato inteligente es que se trata de un contrato que tiene capacidad de cumplirse de manera automática (Criptonoticias, 2021).

Técnicamente, es un código de programación que se ejecuta cuando se dan las condiciones que se han escrito en el mismo código. A alto nivel se puede decir que se asemeja a un if-else de los lenguajes de programación.

Estos contratos se despliegan sobre una capa inferior a los bloques, es decir, no se escriben sobre los propios bloques de la cadena, pero sí que buscan la información en estos para comprobar si se dan las condiciones necesarias para que se ejecute.

La *Figura 20* es un ejemplo de código de un contrato inteligente.

```
contract MyToken {
    /* Esto crea un arreglo con todos los balances */
    mapping (address => uint256) public balanceOf;

    /* Inicializa el contrato con los tokens iniciales del creador del contrato */
    function MyToken(
        uint256 initialSupply
    ) {
        balanceOf[msg.sender] = initialSupply;           // Le da el creador todos los tokens
    }

    /* Envía las monedas */
    function transfer(address _to, uint256 _value) {
        require(balanceOf[msg.sender] >= _value);         // Verifica que el remitente tenga suficiente
        require(balanceOf[_to] + _value >= balanceOf[_to]); // Verifica desbordamientos
        balanceOf[msg.sender] -= _value;                  // Resta del remitente
        balanceOf[_to] += _value;                          // Agrega el mismo valor al destinatario
    }
}
```

Figura 20 Ejemplo contrato inteligente. Fuente: Criptotario

Los contratos inteligentes no tienen acceso a información de fuera de la red, en cambio en muchas ocasiones es necesario obtener datos de fuera de la red como puede ser el tiempo. Para recoger esta información se utilizan los oráculos. (Mou, 2021)

Los oráculos de blockchain son servicios ofrecidos por terceros que proporcionan a los contratos inteligentes información externa. Sirven como puente entre las blockchains y el mundo exterior. Es importante señalar que un oráculo blockchain no es la fuente de información en sí misma, sino la capa que consulta verifica y autentifica fuentes de datos externas, y luego transmite dicha información. Los datos transmitidos por los oráculos pueden tomar diversas formas - información del precio, culminación exitosa de un pago o temperatura medida por un sensor (Mou, 2021).

Un ejemplo sencillo de estos contratos podría ser el alquiler de un inmueble en el que el contrato inteligente gestiona a las dos partes (propietario e inquilino). Antes de comenzar un nuevo mes, el inquilino debe haber depositado la cantidad acordada de criptomoneda en el contrato y el propietario la llave inteligente de la casa. De tal forma que, si las dos partes cumplen, uno recibirá la llave y el otro el dinero, en caso contrario el contrato cancela la transacción y devuelve su depósito a quien había cumplido con el contrato.

En la *Figura 21* se muestra un esquema simplificado del ejemplo anteriormente explicado.

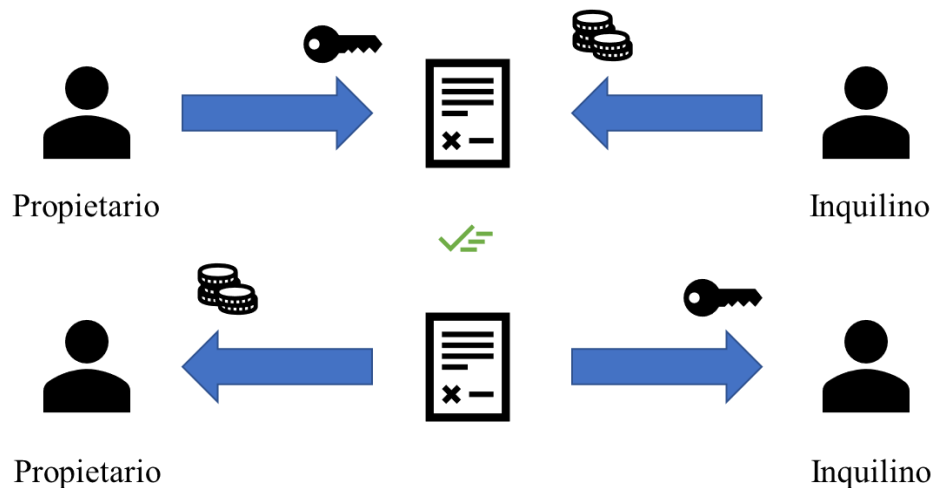


Figura 21 Ejemplo contrato inteligente. Fuente: Elaboración propia

3.5 DAPPS

DApp es el acrónimo de “Decentralized Applications” o “Aplicaciones descentralizadas”. Este es un tipo de aplicación, cuyo funcionamiento no depende de puntos de control o servidores centrales, sino que funciona en base a una red descentralizada (Bit2me academy, s.f.).

En una aplicación centralizada, las interacciones entre usuarios circulan a través del servidor de la entidad central. En cambio, en una Dapp, las interacciones entre usuarios son P2P, es decir, entre usuarios directamente.

Por poner un ejemplo, cuando el usuario A le manda al usuario B una foto a través de Whatsapp, lo que recibe el usuario B no es la misma foto, sino que recibe una copia de la foto que A ha mandado.

En cambio, el uso de una Dapp, permite que el usuario A le mande directamente la foto al usuario B sin tener que pasar por ningún servidor central. No pasar por el servidor central hace abre la puerta al envío de archivos únicos. Es decir, dado este funcionamiento, se podrían generar un número finito de réplicas de una misma foto y se puede saber que usuario tiene cada copia, lo que haría que cada una de estas fotos digitales, aunque visualmente sean la misma, tuvieran una identificación por separado y por tanto tener un valor por separado.

En definitiva, las DApps trabajan sobre una red blockchain en lugar de sobre un servidor central. Es decir, la información que utilizan esta escrita en la red blockchain. Esto hace que sean

una de las opciones más utilizadas para realizar productos de cara al consumidor. En la *Figura 22*, se muestra una diferenciación simplificada de las Dapps, con las aplicaciones tradicionales.

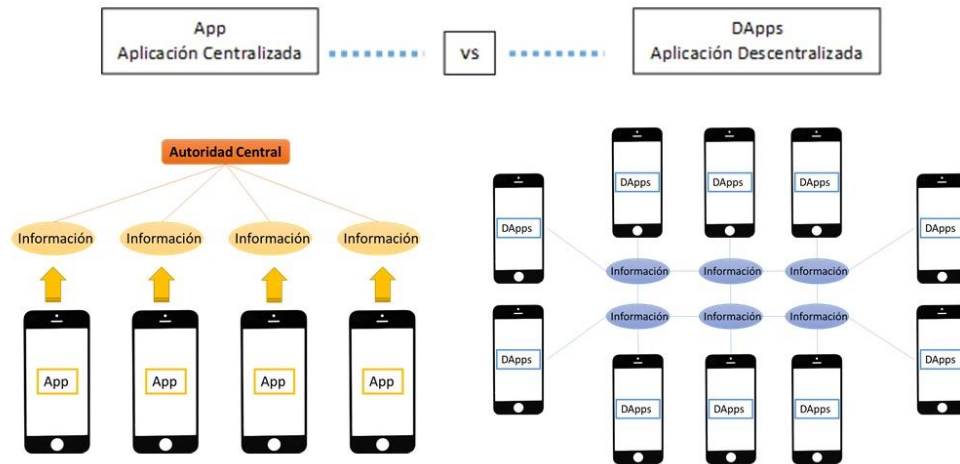


Figura 22 Apps centralizadas vs Dapps. Fuente: Diario Bitcoin

CAPÍTULO 4 MODELOS DE NEGOCIO CON BLOCKCHAIN

Se han analizado diferentes aplicaciones que utilizan blockchain y que pueden ser escalables a un modelo de negocio. Las aplicaciones blockchain estudiadas han sido las siguientes:

- Garantías de origen renovable
- Autoconsumo solar colaborativo
- Trazabilidad del cobalto
- Cargadores de vehículo eléctrico P2P

4.1 GARANTÍAS DE ORIGEN RENOVABLE (GDO)

Las garantías de origen renovable son una herramienta que se utiliza para acreditar cierta cantidad de energía como energía de origen renovable. Estas acreditaciones permiten a las comercializadoras vender su energía como renovable al consumidor.

Otra posible aplicación de blockchain son las garantías de origen (GdOs). Actualmente las garantías de origen renovable son expedidas por la CNMC a los productores renovables que las soliciten. De esta forma cuando un productor renovable vende su energía tiene dos productos vendibles, la propia energía y la garantía de origen renovable.

Estas garantías se pueden vender hasta que sean redimidas por el consumidor final. Las comercializadoras deben hacerse a principios de año con las garantías suficientes para poder satisfacer su oferta de energía renovable.

Estas garantías son certificaciones estándar de 1 MWh que otorga la CNMC a estos productores, garantizando que han suministrado 1 MWh de energía renovable. Un problema de estas certificaciones es que no son inmediatas, sino que como pronto se pueden obtener 2 meses después de la producción (UNEF, 2019).

En consecuencia, el modelo de negocio de los productores de energía renovable es vender la energía, sin ninguna diferencia con respecto a la no renovable, y por otro lado vender estas certificaciones a las comercializadoras que las utilizaran con el consumidor final.

Como se puede observar en la *Figura 23* en 2018 cerca de 100.000 GWh fueron certificados con garantías de origen, de los cuales aproximadamente el 70% de las solicitudes concedidas terminan dentro del mercado español, mientras que el 30% restante se vende en el mercado europeo. Las garantías de origen tienen un año de caducidad desde su expedición por lo que no es necesario utilizarlas en el momento en el que se reciben.

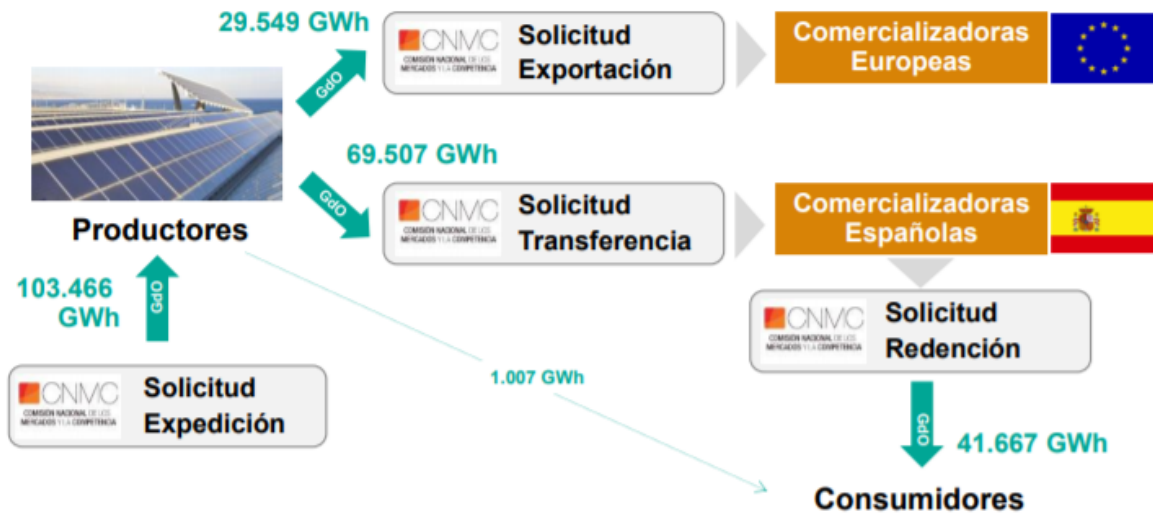


Figura 23 Garantías de origen en España en 2018. Fuente: 2018

El precio al que se venden en España estas certificaciones está entre 0,50€/MWh y 0,60€/MWh, en cambio, en Europa estos activos valen alrededor de 1€/MWh (Ojea, 2019). Cabe destacar que estos precios varían en función del tipo de energía que certifican (fotovoltaica, eólica, biomasa...) y de la demanda de energía calificada como renovable. Además, no existe un mercado centralizado en el que se comercie con estas garantías.

Actualmente, la CNMC de manera manual y en base a los datos que le proporciona REE certifica la energía renovable producida, pero le supone un uso excesivo de recursos para esta tarea.

La solución que se blockchain propone es la certificación instantánea de la producción de energía renovable, eliminando a la CNMC como intermediario. Por tanto, se crearía un proceso más simplificado para la comercialización de garantías de origen. Esta solución ya está siendo adoptada por Acciona en un proyecto llamado Greenchain.

Se trata de un software realizado en colaboración con FlexiDAO, una startup SaaS. Esta herramienta permite trazar la energía renovable que se ha generado por 5 instalaciones hidráulicas y eólicas, y que a diciembre de 2018 permitía trazar el origen renovable de la energía de cuatro clientes corporativos en Portugal (I'MNOVATION, s.f.) (Beltramino, 2018). En 2020 Telefónica se ha sumado a Greenchain, estimándose un suministro renovable de 100 GWh al año (Jiménez, 2020).

La introducción de blockchain supondría escribir en la cadena de bloques, la cantidad de energía renovable que se está generado de manera instantánea, de esta forma la CNMC no tendría que invertir tantos recursos en hacer las comprobaciones manuales de energía producida.

Además, esto abriría la puerta a que el consumidor final pueda decidir qué tipo de energía quiere consumir. Por ejemplo, el consumidor podría decidir que no quiere consumir energía de centrales térmicas, pero sí de nucleares, haciendo así una distinción a medida.

Los problemas de hacer un modelo de negocio con esta aplicación surgen de tener al propio Estado como cliente:

- El único cliente sería el estado, y más bien se trataría de una reforma de su método de contabilizar las garantías de origen. Con una partida del presupuesto del Estado se podría llevar a cabo esta mejor e implantarla, pero su recorrido acabaría ahí.
- No está nada claro que, aunque el Estado tuviera todas las facilidades posibles para implantar un sistema de estas características, lo hiciera. Esto se debe a que la administración pública no siempre funciona de manera óptima y esto acabaría con una gran competencia de la CNMC.

4.2 AUTOCONSUMO COLABORATIVO P2P

El autoconsumo fotovoltaico ha experimentado un fuerte crecimiento en España desde el año 2014, especialmente en los años 2019 y 2020, con la instalación de 459 MW y 596 MW respectivamente, hasta llegar a una potencia acumulada de 1545 MW (UNEF, 2020) como se puede comprobar en la *Figura 24*.

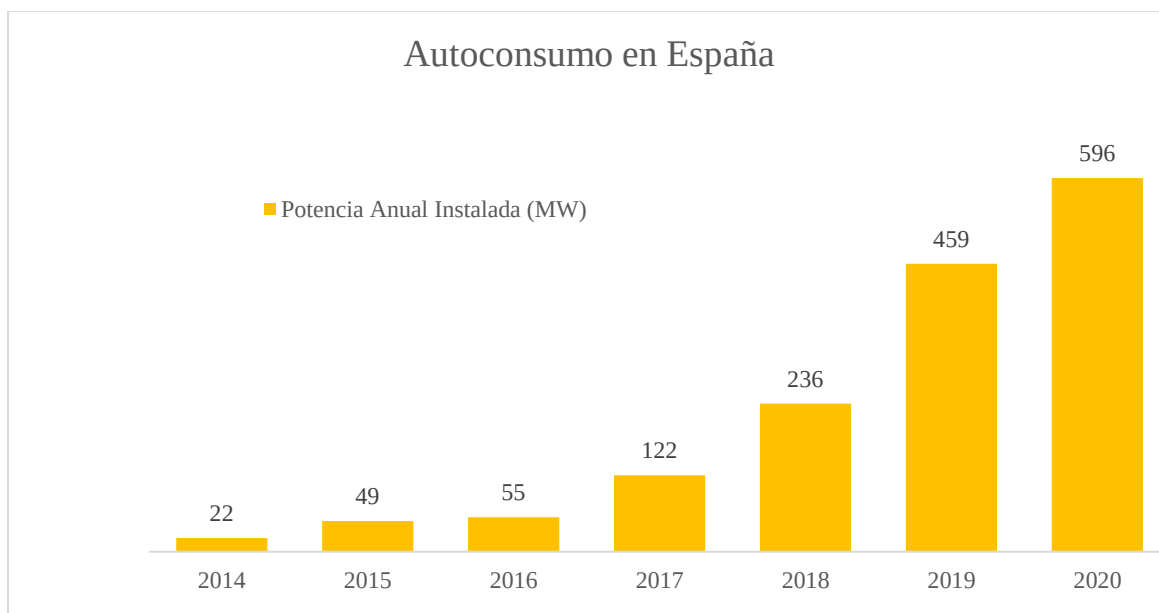


Figura 24 Autoconsumo instalado en España. Fuente: UNEF

Cabe destacar que este incremento ha tenido lugar a pesar del año de pandemia, lo que demuestra la resiliencia de esta industria y que el avance de esta tecnología parece imparable.

La Tabla 2 muestra el tipo de autoconsumo instalado en el año 2020.

Tipo de instalación	MW (%)
Industrial	56%
Comercial	23%
Doméstico	19%

Tabla 2 Distribución de la potencia de autoconsumo instalada en 2020. Fuente: UNEF

El autoconsumo doméstico ha pasado del 10% de las nuevas instalaciones en 2019 al 19% de las nuevas instalaciones en 2020.

Esta solución permite ahorrar energía, siendo la mejor forma hasta la fecha para la generación y consumo distribuido.

Actualmente, la mayoría de los propietarios de paneles solares para autoconsumo producen un excedente que no son capaces de consumir y deben verter a la red esta energía sobrante, especialmente en las horas centrales del día.

Los propietarios de estas instalaciones tienen dos opciones con respecto a estos excedentes. Por un lado, pueden acogerse al plan de compensación, para el cual deben tener instalaciones inferiores a los 100 kW. La comercializadora les compensará con un precio de 0,04-0,05€/kWh (Selectra, 2021), siendo siempre a modo de ahorro, es decir, la compensación percibida nunca puede ser superior al gasto en energía eléctrica.

Si comparamos este precio estándar de la compensación con el precio de la tarifa estable de Iberdrola 0,184611€/kWh (en la que se paga lo mismo durante todo el día), se puede comprobar como existe una diferencia superior a 0,12€/kWh.

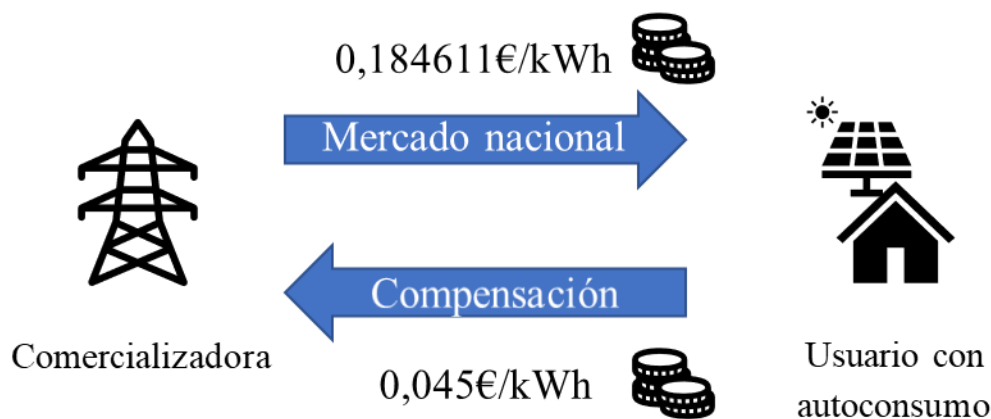


Figura 25 Compensación vs compra de energía para cliente de autoconsumo. Fuente: Elaboración propia

La otra opción de la que disponen estos instaladores si no se quieren acoger a este plan es convertirse en una planta generadora a todos sus efectos, teniendo que vender la energía excedentaria en el pool del mercado eléctrico, algo muy lejano para particulares o empresas que no se dediquen a la energía eléctrica.

Blockchain permitiría crear una plataforma que pusiera en contacto a productores con consumidores para vender esta energía sobrante a un precio justo. Una posible forma de resolver este problema sería creando un Marketplace en el que aquellos usuarios generadores que tengan excedentes energéticos, puedan venderlos a usuarios cercanos a la generación.

Existen precedentes de este tipo de tecnología, como es el caso de LO3 Energy en Estados Unidos, quienes crearon en Brooklyn una comunidad solar en la que los vecinos podían venderse entre ellos la energía solar. Se trata de una micro red en la que los usuarios están físicamente conectados entre sí. Para ello, utilizando la tecnología blockchain eran capaces de certificar la

energía que se estaba produciendo y consumiendo en tiempo real. La *Figura 26* muestra los tejados de esta micro red.



Figura 26 Microred LO3 Energy Nueva York. Fuente: EcoInventos

Este tipo de soluciones blockchain, no se reduce únicamente a un “Marketplace” P2P en el que tanto la parte que vende como la parte que compra son particulares. Puede resultar muy interesante para proyectos en los que el generador de energía es una institución o empresa y le vende la energía sobrante a quienes estén cerca de la generación.

Aunque no existen precedentes de instituciones utilizando blockchain para vender la energía sobrante de placas fotovoltaicas que tengan instaladas en edificios públicos, sí que existe por ejemplo un barrio solar en Zaragoza en el que el ayuntamiento cede espacios públicos para que se instalen las placas y poder vender la energía hogares cercanos.

4.3 TRAZABILIDAD DEL COBALTO

El cobalto es un material fundamental para la fabricación de baterías de vehículos eléctricos. Aproximadamente el 60% de la producción mundial tiene lugar en la República Democrática del Congo convirtiéndola en la mayor productora de esta materia prima (Robertson, 2019).



Figura 27 Precio del cobalto en dólares por tonelada. Fuente BBC/Bloomberg

Tal como se aprecia en la *Figura 27* el precio de este mineral llegó a superar los 90.000 dólares por tonelada en 2018 debido a una posible escasez de cobalto combinada con una demanda creciente de dispositivos electrónicos y vehículos eléctricos (Óscar Granados, 2018) que contrasta con los 32.000 dólares por tonelada en noviembre de 2020 (El Economista, 2020). Esta caída se debió a que las empresas encargadas del procesamiento del cobalto pusieron a la venta su stock ya que la demanda de vehículos fue muy inferior a la esperada.

El problema con este producto es que no se ofrecen garantías sobre su extracción, existiendo un problema muy grave con el trabajo infantil. Amnistía Internacional calcula que en 2016 cerca de 40.000 niños trabajaban en estas minas de cobalto del Congo (Amnistía Internacional, 2016).

Por el momento parece muy difícil que el cobalto pueda ser sustituido por otro material ya que si se elimina aumentaría la cantidad de níquel de la batería y por consecuencia habría un sobrecalentamiento de ésta. Por poner un ejemplo, el Tesla model S contiene 7 kg de cobalto en su batería (Matesanz, 2018).

La trazabilidad de productos a lo largo de la cadena de suministros es otro de los problemas para los que blockchain propone una solución, ya que la visibilidad del origen se diluye de manera exponencial a medida que se avanza aguas abajo de la cadena de suministros.

El uso de esta herramienta permitiría registrar de manera segura e inalterable el origen de un producto, así como sus pasos intermedios hasta llegar al consumidor final. Uno de los principales retos a los que se enfrenta una cadena de suministros es sustituir todos los procesos manuales (Mckinsey, 2017). Aunque pueda parecer extraño, actualmente muchos procesos se siguen haciendo en papel, especialmente en los niveles más bajos de la cadena de suministros, como es el caso de la industria del transporte.

Una solución tecnológica para este problema es “PorkChain” (Ramíó, 2020), una red para la cadena de suministros de la industria porcina desarrollada en España y basada en Ethereum. Esta plataforma permite mediante el uso de contratos inteligentes realizar los trámites entre ganadero, veterinario, transportista y matadero.

Toda la información queda registrada de manera inmutable de forma que se conocen todos los datos relevantes acerca de la cadena de suministro, sustituyendo al papel que no ofrece ninguna garantía de origen. En la *Figura 28* se muestra el esquema del funcionamiento de Porkchain.

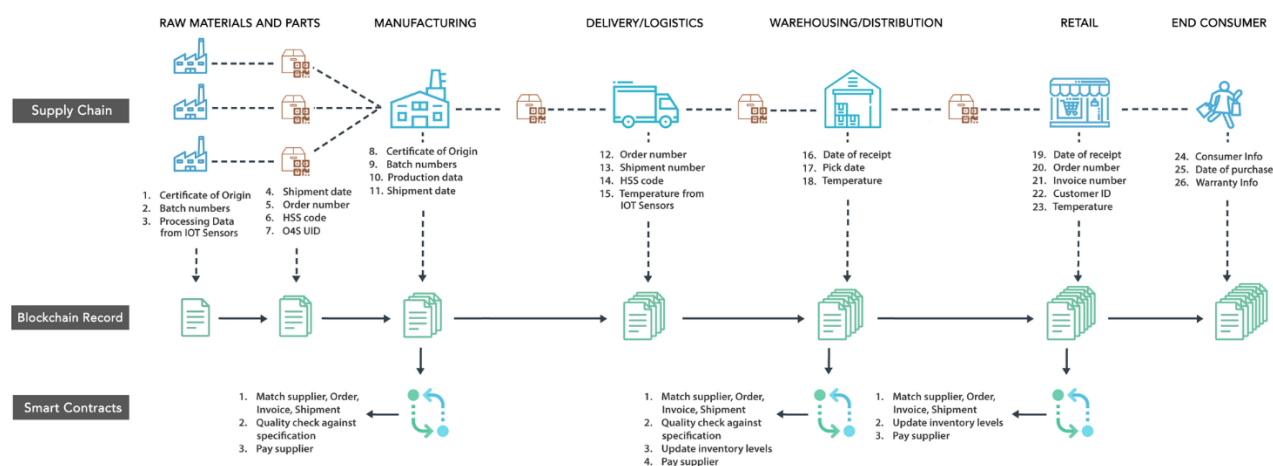


Figura 28 Esquema Porkchain. Fuente: CriptoBlog

En cuanto a proyectos para trazar el origen del cobalto destaca el fabricante de automóviles Volvo, el cual ha llegado a un acuerdo con sus proveedores de baterías CATL y LG Chem para implantar la tecnología blockchain en la cadena de suministros y poder garantizar que el cobalto utilizado ha sido extraído de forma responsable. Las empresas tecnológicas encargadas del desarrollo software han sido Circulator y Oracle en CATL y RSBN, RCS Global e IBM en LG

Chem. El proyecto piloto tuvo lugar en el verano de 2019 y actualmente están trabajando en su implantación (Volvo, 2019).

Es cierto que este tipo de trazabilidades utilizando blockchain siguen teniendo un punto débil, el primer input. Siempre tiene que existir como mínimo una entrada de datos, lo que viene a solucionar blockchain es que se tiene gran seguridad en que si existe algún tipo de alteración ha venido por este punto débil.

En realidad, el punto débil de la entrada sucede con todas las soluciones blockchain, siempre tiene que existir un primer input, el cual no se puede controlar con total seguridad, pero que se puede saber que los posibles problemas derivarán de este.

Microsoft Azure ofrece soluciones de este tipo para la trazabilidad de producto, de hecho, son muchas las empresas que se dedican a trazar el origen de productos, como pueden ser los alimentos. De hecho, en Microsoft Azure ofrecen una plataforma que facilita la manejabilidad del usuario, permitiéndole añadir nodos, darles ciertos permisos, monitorizar la red... Y todo ello ofreciendo muy buena experiencia de cliente que baja la tecnología blockchain a personas sin conocimientos específicos de esta como pueden ser lenguajes de programación.

La *Figura 29* muestra un ejemplo de cómo es la experiencia de usuario para montar una blockchain de trazabilidad de producto en Microsoft Azure.

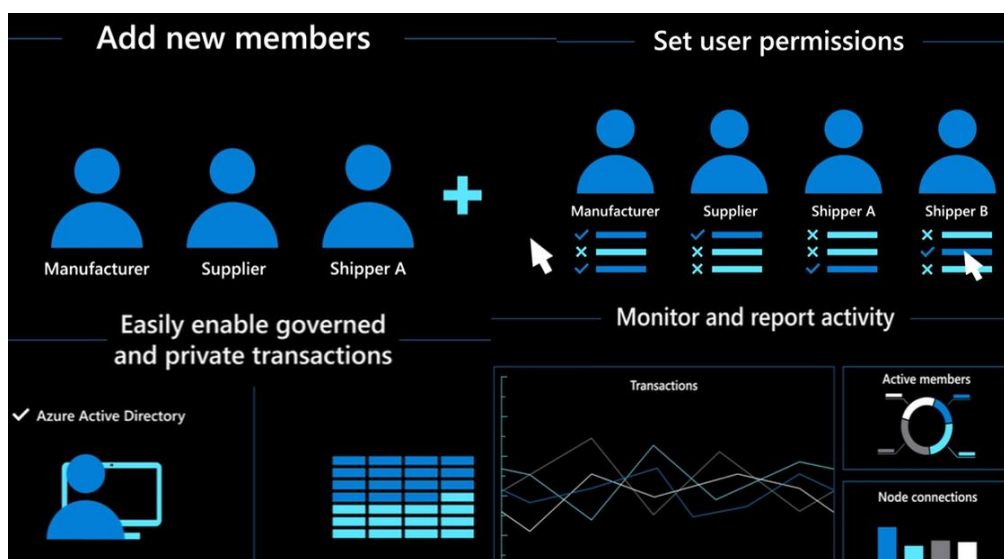


Figura 29 Experiencia de usuario para montar una blockchain de trazabilidad en Microsoft Azure. Fuente: Microsoft Azure

4.4 CARGADORES DE VEHÍCULO ELÉCTRICO P2P

El último de los casos de estudio es la recarga de vehículos eléctricos. Uno de los impedimentos para la popularización de este medio de transporte entre la población es la falta de puestos de recarga para los mismos.

En España existen aproximadamente 7.600 puntos de recarga públicos, muy pocos si se comparan con los de cerca de 100.000 que existen en Francia. En cuanto al reparto en el territorio nacional de las estaciones de recarga, Cataluña cuenta con 2.683 puntos (35% aproximadamente) que contrastan con los 912 de los que dispone la Comunidad de Madrid (Longás, 2020).

Una empresa llamada Share&Charge ha diseñado un proyecto “Peer-to-Peer” en Alemania en el cual cualquier usuario de un vehículo eléctrico con una estación de recarga particular se puede unir y poner al servicio de otros usuarios de vehículo eléctrico este punto de recarga. En esta compañía se describen a sí mismos como el “AirBnB de las estaciones de recarga”.

Se basaría en el uso de contratos inteligentes entre usuarios que pueden comprar/vender energía eléctrica para los vehículos de manera segura y fiable. Esta solución pone a disposición de los usuarios de Share&Charge más de 1200 puntos de recarga en Alemania (Share&Charge, s.f.).

4.5 SELECCIÓN MODELO DE NEGOCIO ELEGIDO

Finalmente, el modelo de negocio escogido para desarrollar en mayor profundidad es el modelo de autoconsumo fotovoltaico. En la *Tabla 3* se exponen los motivos de descarte de los otros modelos y los motivos por los que se ha escogido el autoconsumo.

Modelo de negocio	¿Seleccionado?	Motivos
Garantías de origen	No	• Tener como único cliente al Estado, en este caso a la CNMC, por lo que no se podría vender a otros clientes • Dependencia directa del Estado, ya que es competencia única de la CNMC, de forma que está muy regulado • Existen competidores en España que ya lo han hecho, y aun así la CNMC no ha querido instalarlo (por los motivos que sean), como es el caso de Greenchain en Acciona
Trazabilidad del cobalto	No	• Empresas con mucho más “know-how” en cadena de suministros como P&G, Amazon... • Este tipo de plataformas están muy comercializadas, como sucede con Microsoft Azure, así como en la industria alimentaria • Dificultad a la hora de comercializarlo. Más futuro si se hace sin ánimo de lucro
Cargadores Vehículo eléctrico P2P	No	• No existen casos de éxito de referencia y sí de fracaso • En España solo hay 45,500 coches eléctricos o híbridos enchufables (Carwow España, 2020), lo que hace que aun sea un mercado muy reducido
Autoconsumo fotovoltaico	Sí	• Existen casos de referencia de éxito • Se puede encontrar quien desarrolle el producto • Importante crecimiento continuado de la industria

		• Supondría un gran impulso para la generación distribuida en España, fomentando la instalación del autoconsumo, una energía limpia • Posibilidad de combatir de manera directa la pobreza energética • Preferencia personal por esta industria, así como por la transición a una energía renovable
--	--	---

Tabla 3 Motivos de selección o rechazo para los 4 modelos de negocio. Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 5 ENERGÍA FOTOVOLTAICA

5.1 Desarrollo de la energía fotovoltaica

La energía fotovoltaica es una de las fuentes de energía renovable más prometedoras del futuro. Pero antes de llegar hasta su situación actual, su historia ha sido muy completa.

5.1.1 Primeros años

En el año 1839, Alexandre Edmund Bequerel descubrió el efecto fotovoltaico pudiéndose considerar este como el inicio de esta tecnología. Este efecto se basa en que la luz puede generar corriente eléctrica al iluminar algunos materiales (Brown, 2010).

El tipo de material utilizado para aprovechar este efecto son los semiconductores, ya que son capaces de conducir la electricidad de forma más efectiva al incidirles la luz. Esto es debido a que la luz suministra cierta cantidad de energía que otorga mayor movilidad a los electrones, y en consecuencia mayor conducción de la electricidad.

Tras el descubrimiento de este efecto, fueron varios los avances hasta llegar a las placas fotovoltaicas. En 1873 el ingeniero eléctrico Willoughby Smith pudo observar durante la construcción de cables submarinos el efecto fotovoltaico en práctica en el selenio, un semiconductor. En 1877, William Grylls Adams y Richard Evans Day presentaron a la Royal Society un artículo titulado “La acción de la luz en el selenio”, en el que fueron capaces de construir una célula solar de selenio en un tubo de vidrio. (López, s.f.)

Pero no fue hasta el año 1883, cuando se consiguió materializar este efecto, con lo que se convertiría en el origen de los actuales paneles fotovoltaicos. Este hecho se publicó en la revista American Journal of Science, en el artículo “Sobre una nueva forma de fotocélula de selenio”. El responsable de este invento fue el científico americano Charles Fritts, al que se le considera el padre de las placas solares modernas.

5.1.2 Carrera espacial y paneles fotovoltaicos

Estas materializaciones del efecto fotovoltaico no conseguían producir la suficiente energía como para poder encontrar aplicaciones prácticas. En 1953, Gerald Pearson de Laboratorios Bell,

inventó una célula fotovoltaica basada en el silicio, la cual resultaba mucho más eficiente que el selenio.

A pesar de todos estos avances, el gran problema que presentaba esta tecnología era su elevado coste, ya que en Estados Unidos, a mediados del siglo XX, el coste del kWh producido en centrales convencionales estaba en torno a 50 céntimos, mientras que el de la energía fotovoltaica rondaba los 300 dólares. Es por este motivo que esta energía no se utilizaba para la producción de energía masiva (Abele, s.f.).

La aplicación de esta tecnología estaba centrada en pequeños aparatos electrónicos, lo que hacía muy difícil su desarrollo, ya que no se generaban grandes beneficios.

Pero la suerte de las placas solares fotovoltaicas cambio con la carrera espacial. EEUU y Rusia estuvieron envueltos en una competición por el espacio. Gracias a que en la carrera espacial las cantidades de dinero invertidas fueron muy elevadas, los paneles fotovoltaicos se pudieron aprovechar de esto y desarrollarse en profundidad.

La finalidad de las placas solares en la carrera espacial era la alimentación eléctrica de satélites y naves espaciales. Para este motivo se barajaron tres opciones:

- Energía nuclear: Fue descartada debido a las enormes complejidades que presentaba y solo se utilizó en algunos proyectos.
- Baterías químicas: Presentaban el problema de que una vez se agotaban, todo el equipo quedaba inservible.
- Paneles solares: Fueron los elegidos, ya que eran más fiables y simples que la energía nuclear, y se podían utilizar durante muchos más años que las baterías químicas.

En 1955, EEUU encarga la producción de paneles solares para satélites espaciales. Poniendo un ejemplo, Hoffman Electronic ofertó en 1955, células de 14mW con un rendimiento de del 3%, con un coste de 1500 dólares por watio. Dos años más tarde, ofertaron células con un rendimiento del 8%. Este ejemplo refleja muy bien el gran desarrollo que se produjo en esta tecnología gracias a la carrera espacial.

En 1958 se pone en órbita el satélite Vanguard I, el cual está equipado con 100 mW de potencia fotovoltaica, en una superficie de 100 cm² para alimentar un transmisor de 5 mW. Se consideraba que las baterías eran la fuente principal de alimentación energética y los paneles eran una fuente secundaria. Las baterías se agotaron a los 20 días, mientras que el equipo pudo estar en funcionamiento con los paneles fotovoltaicos durante 5 años.

Se puede considerar que ni la carrera espacial ni los paneles fotovoltaicos se habrían podido desarrollar el uno sin el otro.

5.1.3 Aplicaciones terrestres

Pero esta energía seguía sin ser utilizada con fines terrestres. El bajo coste extracción de los combustibles fósiles hacían que las centrales convencionales fueran las utilizadas para la generación eléctrica. Por este motivo y los elevados costes de la energía solar, hicieron que esta tecnología cayera en desuso para los fines industriales (Solar Energía, s.f.).

En los años posteriores a la carrera espacial, se evidenció la gran dependencia del petróleo en ciertos países productores. Fueron varios los eventos que acreditaban esta dependencia, como es el caso de la crisis del petróleo de los años setenta o la guerra del golfo en los años noventa, que acentuaron los precios de los combustibles fósiles.

En línea con la búsqueda de alternativas a las fuentes de energía convencionales, en el año 1977, el presidente de EEUU, Jimmy Carter decide instalar placas solares en la Casa Blanca para dar una mayor visibilidad a esta fuente de energía, lo que generó una mayor expectación y conocimiento sobre la misma (Vivint.Solar, s.f.).

Pero realmente, no fue hasta la década de los 2000, que la energía fotovoltaica se empieza a utilizar con mayor frecuencia, y su verdadera expansión ha tenido lugar durante los últimos diez años.

En los últimos años, la penetración de la energía solar ha ido aumentando considerablemente, tal y como se muestra en la *Figura 30*.

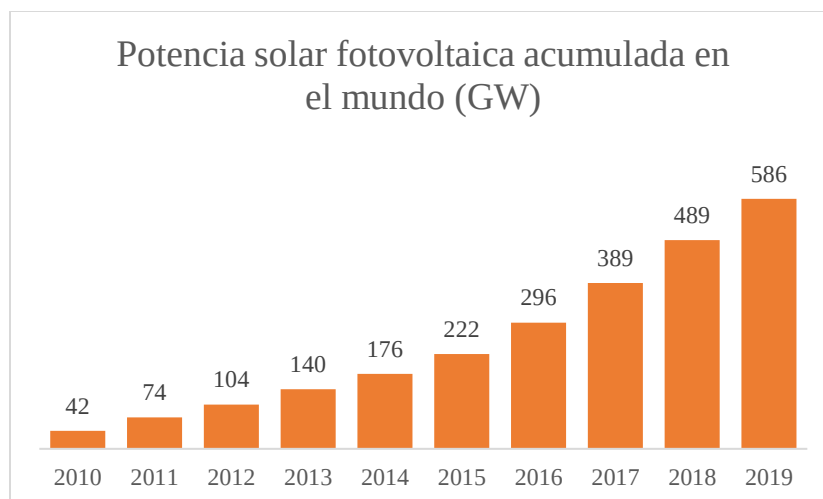


Figura 30 Crecimiento de la potencia solar fotovoltaica acumulada en el mundo. Fuente: International Renewable Energy Agency

Este incremento en la penetración se ha debido al abaratamiento de la tecnología acompañado de un aumento del rendimiento. Tal y como se puede ver en la *Figura 31*, los costes totales de instalación a nivel mundial han pasado de 4702 \$/ kW en 2010 a 995 \$/kW en 2019, y el factor de planta (indicador que se puede utilizar como medida de rendimiento) ha pasado de 14% en 2010 al 18% en 2019. Esto se debe fundamentalmente a la reducción en el coste de los propios paneles el cual se ha reducido un 90% entre diciembre de 2009 y diciembre de 2019 (International Renewable Energy Agency, 2019).

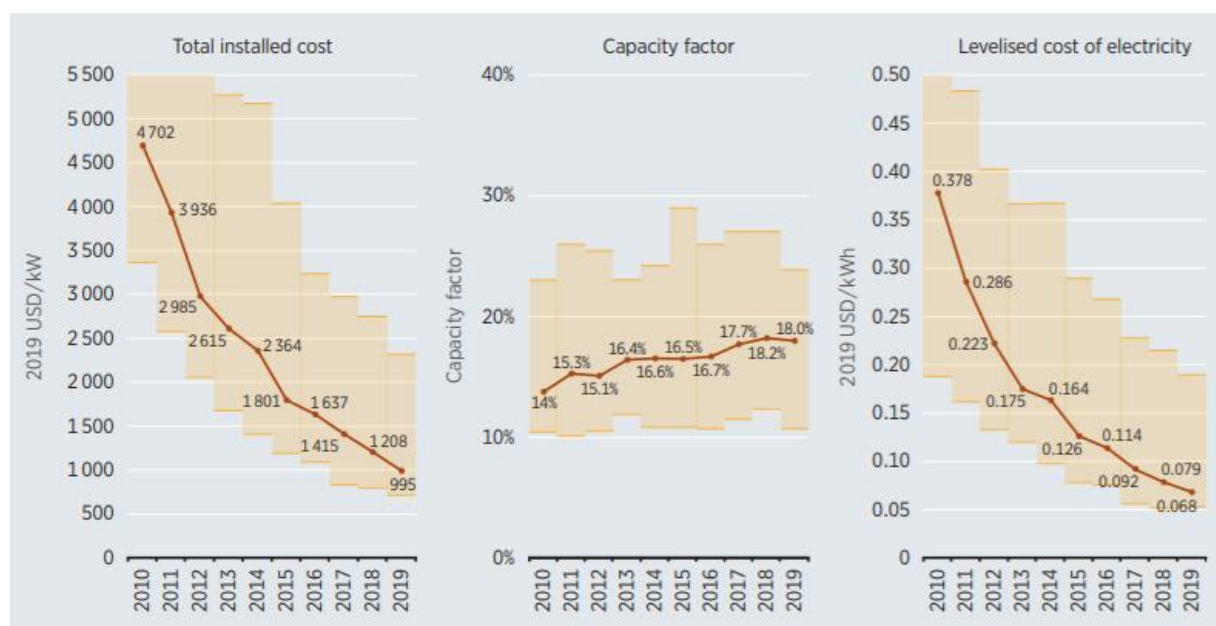


Figura 31 Coste total de instalación, factor de planta y coste de la electricidad. Fuente International Renewable Energy Agency

Las previsiones de crecimiento futuras mantienen las mismas tendencias de reducción de costes y aumento del rendimiento, a la vez que el incremento en la potencia instalada.

5.2 ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN ESPAÑA

En España las primeras aplicaciones de la energía solar fotovoltaica llegaron en la década de los setenta y se centraban en las siguiente (Monera, 2015):

- Energía eléctrica en viviendas aisladas
- Sistemas de comunicación en montes (Telefonía, Ejército, televisión...)
- Regadío
- Postes de socorro en carreteras
- Señalización marítima

Se trataba de aplicaciones para las cuales resultaba complicado llevar una conexión del sistema eléctrico español o que requerían cierta independencia.

La primera aplicación que se hizo en España fue para alimentar un repetidor de telecomunicaciones en Tenerife, por parte de la Compañía Telefónica Nacional de España. Se instaló 1 kW de potencia.

En 1984 Iberdrola instaló la primera central fotovoltaica conectada a la red. Se trataba de una instalación de 100 kW en San Agustín de Guadalix (Forecasting, 2020), la cual fue la única instalación en España durante 10 años.

Durante los años siguiente no se produjeron grandes avances en España en la instalación de paneles fotovoltaicos.

Tras varios sistemas de primas para incentivar la instalación de fotovoltaica en España, en el año 2007 se fijaron unas primas y tarifas reguladas que hacían que aumentaba la rentabilidad de las plantas fotovoltaicas y dispararon la instalación de las mismas como se puede ver en la *Figura 32*.

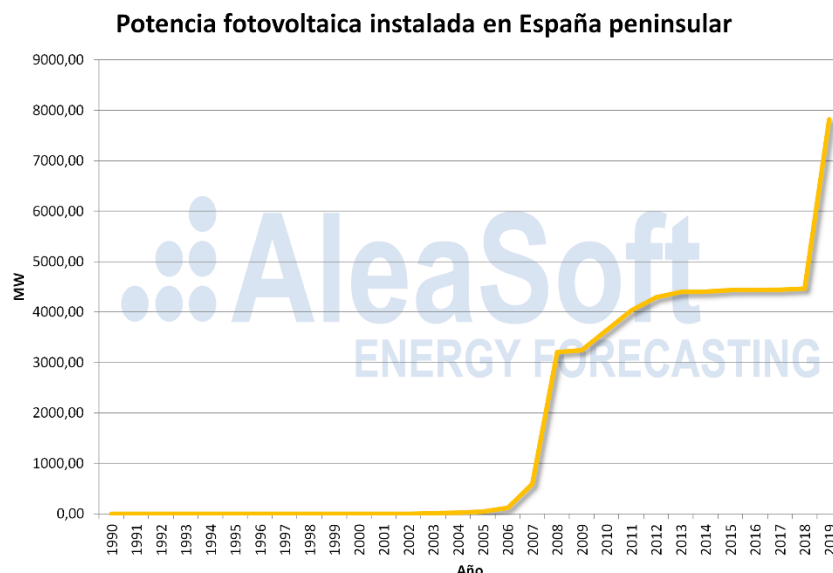


Figura 32 Potencia fotovoltaica instalada en España. Fuente: AleaSoft Energy Forecasting

Tras la llegada de la crisis económica de 2008, se produjo una desaceleración en la instalación de esta tecnología. Y a partir de 2016, con el abaratamiento de los costes de los paneles solares y el aumento de su eficiencia se produjo una nueva aceleración en la instalación de potencia fotovoltaica en España. Además, este abaratamiento de costes y aumento de rendimiento ha conseguido que el precio de la energía fotovoltaica sea lo suficientemente rentable como para ir directamente al mercado si ayuda de las primas.

En cuanto al futuro de la energía fotovoltaica en España, se prevé un gran crecimiento, como se muestra en el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC), en el que se establece el objetivo de energía 100% renovable en 2050, con la meta intermedia de 37 GW de fotovoltaica instalados en España para 2030, lo que la convertirá en la renovable con el mayor crecimiento para los próximos 10 años.

5.3 AUTOCONSUMO

El autoconsumo consiste en la generación de energía eléctrica tiene lugar en la misma localización en la que se va a consumir, generalmente mediante el uso paneles fotovoltaicos.

Las ventajas del autoconsumo son las siguientes:

- En primer lugar, se trata de una energía de origen renovable, lo que la convierte en una de las posibles soluciones energéticas del futuro al no ser contaminante.

- Es una energía de kilómetro 0. Esto quiere decir que la generación y el consumo se producen en el mismo kilómetro, concretamente en el mismo lugar. Esto trae consigo dos claras ventajas.

La primera ventaja que se deduce de la energía de kilómetro 0 es que se evitan pérdidas derivadas del transporte y la distribución del sistema eléctrico. Las pérdidas de transporte se eliminarían por completo y las de distribución parcialmente, ya que incluyen pérdidas por conexiones ilegales al sistema eléctrico. La totalidad de las pérdidas se puede observar en la *Figura 33*.

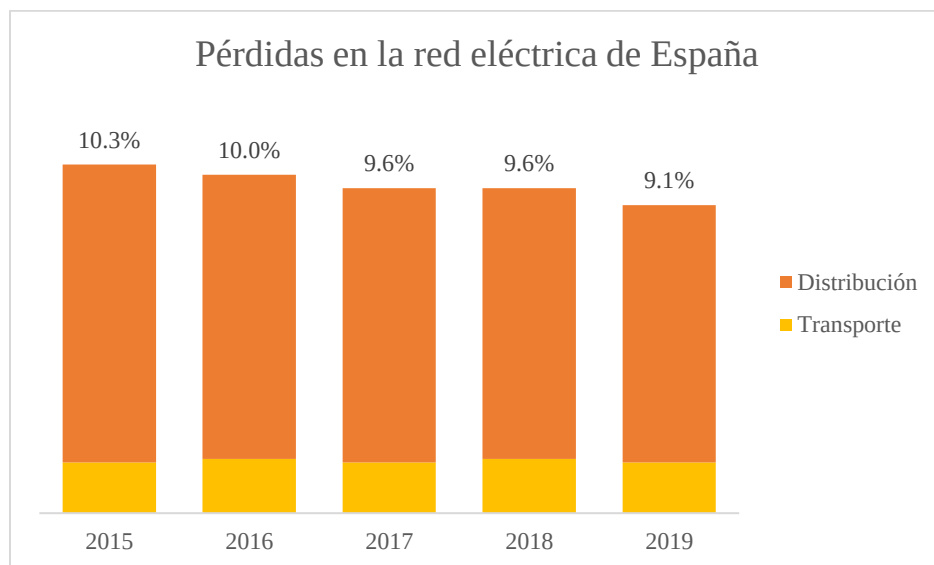


Figura 33 Pérdidas en el sistema eléctrico de España. Fuente: Naturgy

La otra gran ventaja que ofrece la energía de kilómetro 0, es evitar la saturación de las líneas eléctricas. Este ha sido uno de los motivos por el cual ha tenido lugar el cambio en la tarifa de la luz que ha entrado en vigor el 1 de junio de 2021. Se pretende movilizar el consumo de las horas con más demanda a las horas con menos demanda. Esto permite tener menores costes en infraestructura de transporte y distribución.

- Produce un ahorro en la factura de la luz de quien disfruta de la instalación de autoconsumo, al no sustituir una parte de la energía que antes se compraba por energía generada por la propia instalación.
- Es una fuente de generación de actividad económica, ya que se necesita crear toda la infraestructura y realizar la instalación. Además, la instalación y la gestión es de manera local, por lo que fomenta la actividad económica y creación de empleo a nivel local.

El futuro del autoconsumo en España es muy prometedor, y se posiciona como una de las soluciones para el cambio en la generación energética. Si el objetivo del PNIEC para el 2030 es llegar a 37 GW de energía fotovoltaica como se ha comentado en el apartado de Energía solar en España, UNEF estima que el 20% corresponderá al autoconsumo, es decir, 7,4 GW (Molina, 2019).

Desde 2015 y hasta 2018, estuvo vigente el llamado impuesto al sol, el cual gravaba sobre dos conceptos (Selectra, s.f.):

- Potencia instalada, en caso de ser superior a 100 kW
- Energía autoconsumida, se aplicaba sobre el total de la energía producida y el vertido en la red. Con ciertas excepciones como aquellas instalaciones inferiores a 10 kW.

El concepto de este impuesto era que aquellos usuarios con instalaciones fotovoltaicas contribuyeran al mantenimiento de la red. De esta forma eran las distribuidoras las receptoras de este impuesto.

5.3.1 Real Decreto 244/2019

En 2019 entró en vigor el Real Decreto 244/2019, con el que se pretende potenciar la instalación de autoconsumo basándose en los siguientes puntos:

- Eliminación de trabas
- Compensación de los excedentes
- Explotación de terceras partes
- Autoconsumo compartido

Eliminación de trabas

Se eliminan todas las tasas relativas a la generación fotovoltaica, con el objetivo de fomentar su instalación. Además, se elimina cualquier límite de potencia a instalar, puesto que antes solo se podía instalar como máximo una potencia igual a la potencia contratada.

Compensación con excedentes

Antes de la entrada en vigor de este Real Decreto, los excedentes de energía se podían verter a la red simplemente a modo de balance de la instalación, sin obtener ninguna recompensa económica por ello.

En primer lugar, en este Real Decreto se distinguen dos modalidades de autoconsumo:

- Autoconsumo sin excedentes: Son aquellas instalaciones que no vierten energía excedentaria la red de transporte y distribución, ya sea porque no los generan o por que se bloquea su vertido. Están provistas de un dispositivo para evitar vertidos en la red.

- Autoconsumo con excedentes: Aquellas instalaciones fotovoltaicas que además de servir para autoconsumo, vierten energía en la red eléctrica. Se distinguen dos tipos, compensación de excedentes simplificada y no simplificada:

1. La compensación simplificada consiste en que aquellos kWh vertidos a la red serán compensados a un precio acordado entre el usuario y la comercializadora. Este precio se suele situar en torno a 0,04-0,05 €/kW. El precio compensado, se verá reflejado en la factura eléctrica y nunca podrá ser superior a la factura eléctrica del usuario., es decir, nunca puede obtener más ingresos por la compensación, que gastos en la luz.

Para poder acogerse a este plan, el usuario debe tener una instalación inferior 100 kW. Además, para instalaciones inferiores a 15 kW, como sucede en la mayoría de las viviendas, la tramitación para acogerse a este plan de compensación se ve notablemente reducida.

2. La compensación no simplificada significa vender el excedente energético en el pool del mercado eléctrico. Por este motivo a todos los efectos legales esta instalación de autoconsumo se convierte en una planta de generación.

En consecuencia, los trámites para obtener este plan aumenten, ya que es necesario crear una figura jurídica, es decir, hay que constituir una empresa. Además, es necesario encontrar una empresa que liquide las diferencias, lo que añade más costes. Esto hace que a no ser que se trate de una instalación de mucho volumen, no merezca la pena acogerse a este plan.

Gracias a la introducción de este Real Decreto se ha conseguido que la compensación de los excedentes sea uno de los motivos por los que el autoconsumo está experimentando un enorme crecimiento desde el 2019, como se muestra en la *Figura 24*.

Explotación de terceras partes

El Real Decreto 244/2019, permite que el propietario del inmueble sobre el que instalado el autoconsumo y el propietario de la instalación de autoconsumo, sean personas diferentes. Esto abre la puerta a la explotación del autoconsumo por empresas ajenas a la propiedad, alquilando el espacio a los propietarios de los inmuebles, siendo la empresa quien gestiona la instalación y compartiendo los beneficios con los propietarios.

Autoconsumo compartido

Este tipo de autoconsumo consiste en instalaciones que pertenecen a más de un propietario, de forma que se autoconsume y se reparten los excedentes entre los diferentes propietarios. Es una forma de optimizar la energía eléctrica generada, ya que con el modelo actual de autoconsumo el ahorro se produce cuando se autoconsume y no cuando se compensa la energía. Además, es una forma de fomentar que la energía se consuma en el mismo lugar en el que se genera, haciendo más eficiente la red.

Para poder acogerse a esta modalidad de autoconsumo, se debe dar al menos una de las siguientes condiciones según el Real Decreto 244/2019:

- Los usuarios del autoconsumo compartido están conectados a través de líneas directas entre ellos y con la instalación
- Los usuarios están conectados a cualquier red de baja tensión derivada del mismo centro de transformación.

- Generación y consumo están conectado en baja tensión y se encuentran a una distancia inferior a 500 m.
- Generación y consumo se encuentran en la misma referencia catastral según sus primeros 14 primeros dígitos.

En este Real Decreto se establece que la forma de repartir esta energía para autoconsumir será a través de coeficientes fijos. De común acuerdo entre los propietarios se establecerán los coeficientes, que significan el porcentaje de energía que tienen derecho a autoconsumir, así como cuanta energía les corresponde de la compensación, en caso de acogerse a la misma.

En el Real Decreto 244/2019 se establece que estos coeficientes sean constantes. Esto hace que la instalación no sea todo lo eficiente que podría, ya que tal y como está diseñado el sistema lo ideal sería que toda la generación que tenga lugar se consuma en la misma localización de la instalación.

También es cierto que en este Real Decreto se indica lo siguiente: *“mediante orden de la Ministra para la Transición Ecológica previo acuerdo de la Comisión Delegada del Gobierno para Asuntos Económicos, se modificará el Anexo I para desarrollar los mecanismos y requisitos que resulten necesarios para permitir la implementación de coeficientes de reparto dinámicos para el autoconsumo colectivo o asociado a una instalación a través de la red”*. De esta forma, se deja la puerta abierta a introducir coeficientes dinámicos que puedan mejorar la eficiencia de las instalaciones de autoconsumo.

En consecuencia, se ha emitido un proyecto de orden por la que se modifica el Anexo I del Real Decreto 244/2019. En este proyecto se cambian estos coeficientes estáticos por coeficientes dinámicos. De esta forma, cada uno de los usuarios tiene un coeficiente para cada hora del año, maximizando el consumo de la energía generada por los paneles en el mismo lugar.

Estos coeficientes se establecen de mutuo acuerdo entre los participantes del autoconsumo compartido, teniendo que ser mandados al ministerio en plazo no inferior a un año. Es decir, se debe calcular con un año mínimo de previsión cuales van a ser los coeficientes para cada hora del año.

Aunque los coeficientes dinámicos fomentan que se consuma la energía generada por la instalación de autoconsumo en el mismo lugar y por tanto son mejores que los coeficientes

constantes, siguen siendo ineficientes. Esto es debido a la necesidad de saber con un año de antelación cual va a ser el comportamiento del usuario (cuando va a estar en el recinto, cuando se va a ir de vacaciones...), lo cual en la mayoría de las situaciones es difícil de conocer.

5.3.2 Sistemas de autoconsumo

Tras el análisis de los diferentes tipos de instalaciones existentes se ha decidido distinguir dos tipos de autoconsumo:

- Autoconsumo individual
- Autoconsumo comunitario

Autoconsumo individual

Este tipo de autoconsumo es la modalidad más sencilla. Se diferencia en que la instalación de autoconsumo únicamente beneficia a quien la posee. Cuando la instalación genere energía y exista un consumo, esta energía será autoconsumida. En caso de que haya un excedente, esta energía será vendida a la comercializadora o en mercado eléctrico, acogiéndose a uno de los planes propuestos en el Real Decreto 244/2019.

Con esta modalidad se ahorra en la factura de la luz gracias a la energía autoconsumida, pero no es todo lo eficiente que podría ya que solo se produce un ahorro sustancial cuando se autoconsume, y por otro lado la energía se inyecta en la red sin aprovechar al completo el beneficio económico que el usuario de la instalación puede sacar de ella. Además, se deja de aprovechar al completo de los beneficios de la energía de km 0.

Autoconsumo comunitario

En este tipo de autoconsumos, son varias las personas o entidades involucradas en el sistema de autoconsumo. El objetivo de este tipo de instalaciones es sacarle el máximo beneficio a la energía generada por los paneles fotovoltaicos.

En este tipo de autoconsumo se han encontrado dos tipos de autoconsumo comunitario:

- Autoconsumo compartido
- Comunidades de autoconsumo P2P

El autoconsumo compartido y su funcionamiento a través de coeficientes se explica en el apartado Real Decreto 244/2019. Esta categoría de autoconsumo busca maximizar el consumo de la energía generada en el mismo lugar de la instalación, permitiendo ser propietarios de una instalación de autoconsumo a varias personas o entidades que tienen derecho a la energía producida en función de los coeficientes asignados de previo acuerdo.

Un ejemplo de modelo de negocio que se ha hecho a través de este sistema es el de Repsol Solmatch. Además de utilizar el autoconsumo compartido, toman ventaja de que tras el Real Decreto 244/2019, no es necesario que el propietario de la instalación de autoconsumo y la localización pertenezcan al mismo propietario.

El modelo de negocio que han establecido consiste montar comunidades de autoconsumos compartidos en los que Repsol cubre el coste de los paneles fotovoltaicos y de instalación en localizaciones (generalmente tejados) de otros propietarios. A cambio Repsol es el propietario de la instalación durante 15 años. Estas personas se benefician del autoconsumo que generan.

Las personas a menos de 500 m de la instalación se pueden subscribir a estas comunidades por un precio mensual, asignándoseles así un coeficiente.

Unas de las ventajas competitivas que tienen es que se aprovechan de su comercializadora de energía eléctrica para ser ellos quienes suministran la energía cuando no es posible el autoconsumo. Además, las horas de autoconsumo no son gratuitas, sino que tienen un coste, aunque mucho más reducido que el precio de mercado.

Otra gran ventaja que aprovecha es el hecho de poseer tantas gasolineras en las ciudades. Sus tejados les permiten instalar paneles solares y crear comunidades de autoconsumo compartido en las ciudades.

En resumen, combinan su capacidad para instalar paneles solares, con su comercializadora para cuando no se autoconsume y sus muchas localizaciones ventajosas en gasolineras.

Por otro lado, existen las comunidades de autoconsumo P2P. En este tipo de comunidades, los excedentes son vendidos a otras personas o entidades cercanas a la generación. De esta forma

la maximización del autoconsumo no viene dada por aumentar la energía autoconsumida en la instalación, sino que viene dado por la venta de la energía sobrante.

Al vender el excedente se aprovecha toda la energía generada en el autoconsumo y la ventaja de la energía de km 0 se explota al máximo. Además, el beneficio económico que presenta para el propietario de la instalación es otra ventaja de este modelo, ya que el precio que se puede obtener es mucho mayor que el que se obtendría en el mercado mayorista o en un posible acuerdo con la comercializadora.

El problema de este tipo de comunidades en España es que están prohibidas ya que según se establece en el Real Decreto 1955/2000, las únicas entidades que pueden vender energía eléctrica son las comercializadoras.

Se han encontrado claros ejemplos de éxito de este tipo de sistemas en el extranjero. Para esta solución destaca el uso de la tecnología blockchain para favorecer las ventas P2P, es decir, directamente entre particulares.

El ejemplo más notable es LO3 Energy es el de la comunidad de Brooklyn, en la que han sido capaces de crear una comunidad de autoconsumo a través de su aplicación conocida como Pando. En ella los usuarios pueden vender y comprar la energía excedentaria de sus paneles fotovoltaicos a otros miembros de la comunidad.

En la solución que adoptan en LO3 Energy, los miembros de la comunidad están conectados entre sí mediante líneas directas. Se puede intuir que sus ingresos vienen dados por la venta de contadores inteligentes, el uso de los datos generados, y la venta de proyectos.

En definitiva, venden un “Marketplace” que para que los miembros de una comunidad puedan vender y comprar la energía excedentaria de sus placas solares, basándose en la tecnología blockchain para registrar los intercambios de energía energética.

Otro competidor que ha montado este tipo de plataforma de venta de energía P2P es Power Ledger, una compañía australiana. En cualquier caso, no existe nadie que ofrezca algo parecido en España.

La fuerte regulación en el mercado eléctrico hace que a las compañías eléctricas no les salga rentable un sistema como este, ya que con la actual legislación sobre la compensación resulta más beneficioso para ellas.

Una plataforma de compraventa de energía se podría hacer sin la necesidad de utilizar blockchain. De hecho, a primera vista parece que la mejor manera es que una tercera parte sea la que gestione todas las transacciones, teniendo en cuenta los intercambios de energía que se producen.

Pero blockchain permite gestionar todas estas transacciones al mismo ritmo que una tercera parte, incluso mejor ya que permite realizar las transacciones a la misma velocidad que se genera o consume la energía (Power Ledger, 2019).

Además, otro punto diferencial de esta tecnología es que elimina al intermediario que se existiría en caso de realizar esta plataforma a través de una tercera parte. En este caso, los acuerdos pasarían de ser bilaterales a ser multilaterales. Es decir, en lugar de tener que llegar a un acuerdo con el intermediario, los acuerdos de compraventa son entre los diferentes usuarios, sin tener que pasar por una tercera parte. La eliminación de intermediarios tiene como norma general la reducción de costes.

CAPÍTULO 6 DESARROLLO DEL PRODUCTO Y MODELO DE NEGOCIO

Cada vez más edificaciones instalan paneles fotovoltaicos para el autoconsumo (tanto de nueva construcción como ya construidos), de esta forma el consumidor eléctrico ahorra en su factura de la luz. Pero no solo se beneficia de un mayor ahorro económico, sino que consume energía limpia y de kilómetro cero, lo cual es cada vez más un mayor valor añadido para el consumidor.

Uno de los problemas que presenta el autoconsumo a día de hoy, se basa en que no se puede controlar la hora exacta a la que se va a producir la energía, ya que está presente el factor meteorológico. Pero el problema no está en los días de sol, sino en que la mayor parte de la generación se producirá en las horas centrales del día que es cuando mayor incidencia solar hay.

La falta de control sobre cuándo se puede generar hace que esta energía sobrante se tenga que verter a la red, lo cual hace que el usuario generador tenga que llegar a un acuerdo con la comercializadora para que se le compense sobre su factura de la luz el excedente que está vertiendo en la red.

Además, el precio de la compensación pactado suele estar entre los 0,04-0,05€/kWh (Selectra, 2021) por excedente, muy por debajo del precio que percibe el consumidor final. Por poner un ejemplo, las tarifa única de Iberdrola está en torno a 0,185 €/kWh, muy por encima del precio de compensación.

Esto último sería en el caso de que la instalación fuera inferior a los 100kW, en cambio si la potencia instalada es superior a esta cifra, el usuario generador no puede llegar a un acuerdo con la comercializadora, sino que deberá convertirse en una planta generadora, lo cual aleja al usuario generador de su “core”, el cual no es la producción de energía eléctrica.

Una posible solución a este problema pasaría por la venta de energía P2P entre el usuario generador y potenciales consumidores cercanos a este. De esta forma, en lugar de simplemente inyectar la energía sobrante en la red, esta se vendería a consumidores cercanos a un precio inferior al de mercado, pero permitiendo al usuario generador obtener una retribución económica por el excedente.

La solución que se propone en este modelo utiliza la tecnología blockchain para realizar la compraventa de energía entre ofertante y demandante. Blockchain permite llevar a cabo un registro inalterable de la energía que se está generando y consumiendo.

A través de esta tecnología, ofertante y demandante pueden garantizar que el intercambio de energía que ha tenido lugar no ha sido alterado por ninguna de las dos partes, ni por terceros, haciendo que se pueda llegar a un acuerdo entre ambas partes sobre unos hechos de los cuales se tiene la certeza necesaria de que han sucedido.

6.1 MODELO FUNCIONAL AUTOCONSUMO P2P

El modelo se basa en que el usuario generador inyecta en la red todo su excedente eléctrico y el usuario consumidor consume todo lo que el usuario generador le permita, directamente desde la red.

Ambos usuarios establecerán un precio por kWh para la energía transferida de uno a otro, de forma que al final del periodo de tiempo que se pacte, el consumidor le transferirá al generador la cantidad de dinero correspondiente al precio y la energía que ha consumido.

La red blockchain se utilizará para escribir en los bloques la cantidad de energía excedentaria que el generador ha vertido sobre la red y la energía que el consumidor ha consumido. Con esta información, y teniendo la seguridad necesaria de la veracidad de la misma gracias a la tecnología blockchain, el usuario consumidor le transferirá la cantidad del activo correspondiente al consumo energético que se ha escrito en la cadena de bloques.

Esta tecnología permite garantizar que se dan las condiciones necesarias para llevar a cabo el intercambio:

- El usuario generador ha generado más energía de la que ha consumido el usuario consumidor
- El usuario consumidor ha consumido menos energía de la que ha generado el usuario generador

Dado el uso de blockchain para resolver este modelo, se plantean dos posibilidades sobre el modelo funcional:

- Modelo a través de contratos inteligentes
- Modelo “libro de cuentas”

6.1.1 Modelo a través de contratos inteligentes

Este modelo requiere el uso de criptomonedas para poder realizar el intercambio de energía por criptomoneda. Como se ha explicado en el apartado de contratos inteligentes, este no deja de ser una especie de “caja fuerte”, en la que se deposita el activo a intercambiar y cuando el contrato lee que en la red blockchain se han dado las condiciones que se establecieron, este se ejecuta (oráculo), realizando el intercambio entre ambas partes.

En este modelo el usuario generador y el usuario consumidor, firman un contrato inteligente entre ambas partes. En este contrato, el consumidor deberá depositar cierta cantidad de criptomoneda sobre el propio contrato.

Ambas partes firman en el contrato el precio al que se va a producir el intercambio de energía por criptomoneda. Se pueden establecer dos tipos de oráculos:

- Oráculo de tiempo: Se trata de un cronómetro, que se disparará cuando pasa el tiempo que se acuerde entre ambas partes. El contrato inteligente leerá en la cadena de bloques si se cumplen las condiciones necesarias para poder efectuar el intercambio. En caso positivo, el contrato inteligente obtiene de la cadena de bloques la cantidad que energía que se ha transferido, obteniendo el precio correspondiente por esa cantidad de energía con el precio fijado anteriormente. En este momento el usuario generador recibe la cantidad de criptomoneda que le corresponde de las que el usuario consumidor ha depositado sobre este. La criptomoneda sobrante, se le devuelve al consumidor.
- Oráculo de límite energético: Este oráculo se activa cuando el consumidor ha consumido una determinada cantidad de energía. El funcionamiento sería igual que en el oráculo de tiempo.

Este modelo permite el uso de pagos instantáneos lo cual puede ser un incentivo para la acogida del modelo, pero añade complejidad a la red.

Los contratos inteligentes requieren consumo de computación para poder ser ejecutados, de forma que quien lo ejecuta percibe una cantidad de criptomoneda en función del gas que

requiera el contrato. Utilizar estos intercambios, permitiría intercambiar energía por dinero de forma instantánea (segundos en realidad), pero esto no sería lo óptimo para el consumo de gas, por lo que habría que optimizar cuantos intercambios son necesarios para no gastar demasiado gas. Por norma general, este precio del gas no debería ser relevante ya que es muy pequeño, pero hay casos en los que sí, como sucede con Ethereum.

6.1.2 Modelo “libro de cuentas”

Este modelo es más sencillo que el que utiliza contratos inteligentes. Al igual que en el caso anterior, la energía generada y consumida por los usuarios generadores y consumidores se registra en la cadena de bloques.

Consumidor y generador pactan un precio para la compraventa de la energía excedentaria. Este precio se registrará en la propia cadena de bloques. Además, establecen el periodo de tiempo tras el que se cobrará la energía.

En este modelo, la información se extrae manualmente, y hay que “mirar” dentro de la cadena de bloques para comprobar si se dan las condiciones necesarias para el intercambio. En caso afirmativo, se comprueba dentro de la cadena de bloques cual ha sido el consumo energético y cuál fue el precio pactado.

En el momento en el que se cumple el plazo y es necesario hacer el pago, de consumidor a generador, se extrae la información de precio pactado y consumo de la cadena de bloques. En este momento, ya fuera de la red blockchain, se hace una simple multiplicación para obtener el dinero total a transferir. Esta transferencia se hace a través de medios convencionales, (por ejemplo, transferencia o tarjeta de crédito).

Este modelo simplifica la red, eliminando la complejidad que añaden los contratos inteligentes. Además, se evita tener que pagar el gas correspondiente por la ejecución de estos. Por otro lado, no permite pagos instantáneos.

6.1.3 Modelo seleccionado: Modelo “libro de cuentas”

Los motivos para seleccionar desarrollar este modelo como solución funcional son los siguientes:

- Es el modelo más sencillo para desarrollar, ya que solo requiere el volcado de datos en la red blockchain. Por otro lado, la introducción de contratos inteligentes hace obliga a introducir criptomonedas para realizar los pagos, lo que añade complejidad a la red. Esta complejidad se vería reflejada en un aumento del tiempo en lanzar el producto.
- El uso de criptomonedas que permita el pago directo e instantáneo entre usuarios es una clara ventaja, pero la ventaja más fundamental es la posibilidad de poder vender directamente entre dos particulares sin necesidad de tener que pasar por un intermediario eléctrico.
- Al usar primero el libro de cuentas se puede lanzar al mercado un MVP con mayor rapidez, algo fundamental para comprobar la aceptación del producto. En un futuro se pretende realizar un desarrollo tecnológico para pasar del formato libro de cuentas al formato por contratos inteligentes.

6.2 PRODUCTO

La funcionalidad del producto se basa en tres pilares mostrados en la *Figura 34*:

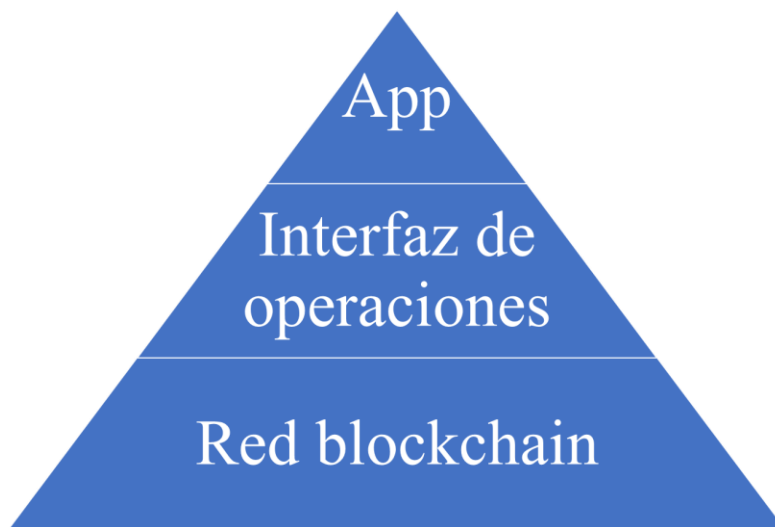


Figura 34 Pilares del producto. Fuente: Elaboración propia

- La base de los pilares será la red blockchain, en la que se escriben los registros de precios establecidos y los intercambios de energía. Es lo que otorga la fiabilidad suficiente al producto como para que las operaciones que están por encima en la pirámide tengan sentido.
- La interfaz de operaciones es donde se utiliza la información extraída de la cadena de bloques para realizar las operaciones pertinentes a los pagos. Además, sirve como pilar intermedio entre las interacciones de los usuarios con la red blockchain y la propia red blockchain.
- La forma que tiene el usuario para interactuar con el producto. Desde aquí los usuarios se ponen de acuerdo en el precio de la energía, la cantidad... Además, desde aquí podrán manejar los pagos y otras funcionalidades.

6.2.1 Arquitectura Hardware

El producto requiere de un único producto físico para su desarrollo. Se trata de un contador inteligente que debe ser capaz de medir la energía excedentaria que producen los generadores y la energía que consumen los consumidores. La novedad de este dispositivo no reside en la medición sino en la capacidad de apuntar directamente estos datos en la cadena de bloques.

Este contador inteligente registra los datos generación y consumo por parte de los usuarios y los transcribe directamente a la cadena de bloques sin pasar por ningún usuario ni terceras partes.

Es importante destacar que se trata de la única entrada externa de datos, por lo que es el eslabón más débil para quebrantar la inalterabilidad del sistema. En caso de algún tipo de alteración indebida en la red, lo más probable es que la alteración haya entrado por este punto.

Este contador inteligente estará formado por tres partes:

- Un pequeño ordenador que será el encargado de realizar todos los apuntes necesarios en la blockchain. Para esta función se podría utilizar una Raspberry Pi 3b+, mostrada en la *Figura 35*, de forma que no sería necesario crear ningún tipo de hardware propio en un principio. Este modelo se puede encontrar en mercado por un precio unitario en torno a los 40€.

Aunque se ha utilizado el precio de mercado este, este componente se puede aprovechar en gran medida de las economías de escala al necesitarse un gran volumen del mismo.

La situación ideal sería prototipar con esa Raspberry, y una vez desarrollado el software, pedir una placa base con este software integrado.

Este modelo cumple con las funcionalidades necesarias, pero se podría estudiar utilizar otro modelo con precio todavía más reducido.

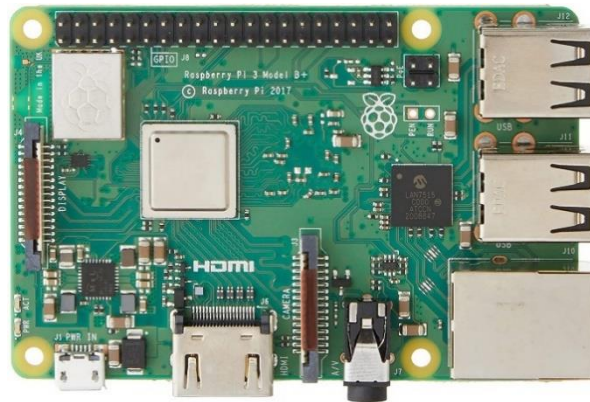


Figura 35 Raspberri Pi 3 B+. Fuente: Amazon

- Los sensores necesarios para poder medir la energía generada y consumida (los contadores). A finales de 2019, el 99,4% de los contadores domésticos instalados en España eran contadores inteligentes (Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC), 2020), es decir, con capacidad de telemedida y telegestión. Esto abre una vía para poder realizar un estudio, y utilizar directamente estos instrumentos para la medida de la energía consumida y generada y así evitar el coste de uno nuevo por cada contador inteligente de blockchain.

- Tecnología de comunicaciones. Es fundamental, ya que este dispositivo debe ser capaz de verter la información sobre la cadena de bloques directamente sin tener que pasar por terceras partes, reduciendo al mínimo los posibles orígenes de alteraciones. Dependiendo de la situación se podrá establecer una comunicación directamente a través de internet o llevando lo datos a internet a través de Power-line communication (PLC).

Aunque se planteó la posibilidad de realizar una micro red entre usuarios generadores y consumidores, esto conllevaría demasiado gasto en realizar toda la instalación, por lo que se opta

por utilizar la propia red y asegurarse que generador y consumidor no estén a una distancia superior a los 500m para seguir con el modelo de energía de km 0.

6.2.2 Desarrollo del producto

Para el desarrollo de la plataforma, se pretende utilizar una empresa externa que tenga la capacidad de realizar este desarrollo. Existen gran cantidad de startups dedicadas al desarrollo de aplicaciones con la tecnología blockchain.

El desarrollo ideal para este producto lo llevaría a cabo la anterior empresa, pero en lugar de utilizar una o dos personas trabajando a tiempo completo en el proyecto, es preferible que la empresa utilice un equipo de 5 persona trabajando en 1,5 días a la semana en el proyecto.

El tener más empleados trabajando en el desarrollo del producto favorece su desarrollo, permite tener mayores puntos de vista y aumentar el rendimiento del desarrollo.

Se pretende seguir un plan para su desarrollo como el que se expone en la *Tabla 4*.

	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9
Desarrollo 1									
Test 1									
Desarrollo 2									
Test 2									
Desarrollo 3									
Test 3									

Tabla 4 Plan de desarrollo de producto. Fuente: Elaboración propia

Se seguirá una metodología “Design Thinking” basada en la prueba y el error. Con tres iteraciones de desarrollo y test debería ser suficiente para completar el proyecto.

Para el cálculo de la inversión se ha basado los cálculos en un sueldo medio de un programador que está entre 30,000€-60,000€ (Infoempleo, n.d.). Se ha supuesto que todos los miembros del equipo de la empresa externa cobran 40,000€ al año. Aplicando las horas anuales correspondientes al 50% de la semana, un 30% en concepto de seguridad social y un 40% de margen para la empresa desarrolladora, se llega a la cifra de 136,500€ por todo el desarrollo en 9 meses, tal y como se muestra en la *Tabla 5*.

Aunque se cree que con 1,5 días a la semana sería suficiente para desarrollar este servicio, se ha utilizado 2,5 días a la semana para ser más conservador.

Tiempo de trabajo	9 meses
Sueldo anual programador	40.000 €
tiempo dedicado por programador	50%
Numero de programadores	5
Sueldos programadores	75.000.00 €
Seguridad social	97.500.00 €
Margen de la empresa	136.500.00 €

Tabla 5 Cálculo de costes para el desarrollo de la plataforma. Fuente: Elaboración propia

6.2.3 Red blockchain utilizada

Para escoger la red blockchain en la que desarrollar la solución se han tenido en cuenta cuatro redes:

- Ethereum
- Alastria
- Cardano
- Stellar Lumen

Para esta selección se han tenido en cuenta dos criterios para decidir, que además están relacionados entre sí:

- Consumo energético
- Mecanismo de consenso

El tipo de mecanismo de consenso utilizado influye en el consumo de energía eléctrica. Los mecanismos proof-of-work se basan en la capacidad de cálculo de los “mineros” lo que genera un consumo energético muy elevado. Se calcula que solo la moneda Bitcoin, la cual utiliza este mecanismo, consume 121,36 TWh de energía eléctrica anualmente (BBC, 2021). Pero Bitcoin, no se puede utilizar para este propósito ya que se trata de una red de pagos descentralizada.

En cambio, Ethereum sería una posible red válida, pero se desecha porque al tratarse de un mecanismo de consenso proof of work, la cantidad de energía utilizada para realizar el minado de los bloques es muy elevada. Aunque es cierto que Ethereum está planeando un cambio en su mecanismo de consenso hacia proof of stake, todavía no se ha realizado.

El consumo energético es un punto clave a la hora de escoger la red, ya que uno de los objetivos del proyecto es reducir el consumo de energía no limpia y promover el uso de la energía de km 0, por lo que sería una inconsistencia del proyecto.

Además, el hecho de que Ethereum tenga actualmente unas elevadas tarifas de gas para la ejecución de contratos inteligentes está haciendo que diferentes protocolos se estén mudando a otras redes blockchain. El precio del gas puede ser un problema cuando se pase a una solución funcional basada en contratos inteligente. Estas elevadas tarifas, sumada a la volatilidad del propio Ether y su consumo eléctrico hacen que no sea la red ideal para este proyecto.

La red Stellar utiliza el mecanismo de consenso FBA, el cual tiene la ventaja de que no tiene el consumo eléctrico de una red proof of work. Su mecanismo es muy interesante y potente, aunque presenta un problema explicado en el apartado de FBA relativo a la falta de intersecciones entre los validadores seleccionados.

La red Cardano también es muy interesante ya que utiliza la red proof of stake que no tiene un elevado consumo eléctrico. Y aunque se podría utilizar perfectamente para este sistema finalmente no ha sido la escogida.

Finalmente, la red seleccionada para desarrollar el proyecto ha sido red Alastria. Los motivos son los siguientes:

- Se trata de una red con mecanismo de consenso proof of authority, por lo que no tiene un consumo energético desproporcionado.
- En Alastria han conseguido que sus registros en la cadena de bloques obtengan validez legal en España lo que la da una ventaja muy clara frente al resto.
- Alastria es lo que se conoce como un “Permissioned distributed ledger”, es decir, se requiere del permiso de la red para poder participar. Aunque esto va en contra de la filosofía blockchain más pura, en la práctica esto hace que tenga el visto bueno de los gobiernos y sea más fácil que la red prospere.
- Los nodos de esta red son empresas e instituciones de reconocido prestigio.

Aunque se trate de una red proof of authority, que no es la más fiel con la filosofía blockchain ya que es el más centralizado de los consensos, los beneficios prácticos superan a los inconvenientes de este mecanismo de consenso.

6.3 ANÁLISIS DEL MERCADO MEDIANTE HERRAMIENTAS ESTRATÉGICAS

6.3.1 PESTEL

Para como poder aplicar este producto en España el primer análisis llevado a cabo fue un PESTEL, para poder identificar los factores externos que aplican al producto, identificando tendencias tanto para el autoconsumo como para la propia tecnología.

Político

En España existe una estabilidad política que permite el desarrollo de actividades económicas sin grandes problemas.

La política del gobierno con respecto al autoconsumo es muy positiva, fomentando la instalación de paneles solares para este fin. Entre las iniciativas que se destacan en España para promover el autoconsumo destacan tres puntos (Hilcu, 2021):

- Bonificaciones del Impuesto por Bienes e Inmuebles (IBI) y del Impuesto sobre Construcciones, Instalaciones y Obras (ICIO), pudiendo bonificarse hasta el 50% y hasta el 95% respectivamente.
- Deducciones del Impuesto de la renta (IRPF)
- Subvenciones autonómicas o locales

Por todos estos motivos podemos considerar que el aspecto político un punto positivo.

Economía

Los fondos de recuperación proporcionados por la Unión Europea a España tienen partidas dedicadas concretamente al autoconsumo, lo cual hace pensar que se le va a dar un gran apoyo a esta tecnología.

El Ministerio de Transición Económica anunció que en enero de 2021 un plan de ayudas de 200 millones de euros, ampliables a 400 millones de euros gracias los fondos de la Unión Europea (KPMG, 2021).

Social

Existen dos aspectos sociales que afectan a este modelo de negocio, la mayor importancia de lo sostenible, así como la gran densidad de población en las ciudades.

En España el 76% de los ciudadanos han cambiado sus hábitos para luchar contra el cambio climático (Ipsos, 2020), lo que demuestra una mayor tendencia hacia lo medioambiental. Esto hace que el hecho de ofrecer una energía limpia se convierta en un valor añadido para los españoles, ya que se le da una mayor importancia.

Por otro lado, la distribución de las viviendas españolas es óptima para este modelo de negocio, la cual es la siguiente (El Mundo, 2016):

- 66,5% de la población vive en un piso
- 33,1% de la población vive en una casa

Dado que la mayor parte de la población vive en un piso, la densidad de las ciudades en España es muy alta. Por este motivo en un radio de 500 m existen una gran cantidad de clientes potenciales, lo que facilita la viabilidad de este negocio.

Tecnología

En cuanto a tecnología, hay que diferenciar entre dos tipos:

- Blockchain: Hay una falta de desarrollo de esta tecnología en esta disciplina, lo que puede suponer un inconveniente a la hora de desarrollar la tecnología, pero caso de conseguirlo pocos competidores serán capaces de crear algo parecido.
- Paneles solares: La bajada en el precio de los paneles fotovoltaicos, de forma que el precio de las instalaciones está entre 1,3-2€/Wp para hogares y 0,8-1,3€/Wp para empresas (Masters in solar, 2021). Además, el autoconsumo solar está sufriendo una fuerte evolución, con un crecimiento del 30% en 2020 en la potencia instalada en España (UNEF, 2021).

Medioambiental

El hecho de hacer un modelo de negocio basado en una energía limpia es positivo ya que actualmente la población es más consciente de los temas medioambientales y por tanto supone un valor añadido.

Legal

En el aspecto legal cabe destacar los siguientes puntos obtenidos del Real Decreto 1955/2000 publicado en el BOE, que impiden que el proyecto sea realizable actualmente:

- Los artículos 67, 68 y 69 de este Real Decreto dejan claro que no se puede conectar una instalación generadora, con una instalación consumidora, teniendo que pasar por la red de forma obligada.
- El artículo 79.3 describe lo siguiente: *“El contrato de suministro es personal, y su titular deberá ser el efectivo usuario de la energía, que no podrá utilizarla en lugar distinto para el que fue contratada, ni cederla, ni venderla a terceros.”*. Por lo que actualmente no se puede vender la energía sobrante a un tercero si no se está autorizado, para lo cual es necesario estar dado de alta como comercializadora.

A pesar de que actualmente no está permitido la venta P2P de energía sobrante de autoconsumo, en el PNIEC 2021-2030 se indica lo siguiente: *“Es necesario analizar también la posibilidad de desarrollo legislativo para contratos bilaterales e intercambios de energía entre autoconsumidores y consumidores mediante plataformas para fomentar el intercambio entre pares y monitorizar las transacciones”* (Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030, 2020). Por este motivo cabe esperar que un futuro no muy lejano se permita esta práctica.

En el Anexo “Motivos por los que la ley debería permitir la venta de energía eléctrica P2P en autoconsumo” se describe por qué este Real Decreto está desfasado y se debe cambiar para poder fomentar el uso de energía limpia y de km 0.

6.3.2 Análisis de las 5 fuerzas de Porter

Una vez concluido el análisis externo del país, se realizó el análisis de las 5 fuerza de Porter, para poder estudiar la industria del autoconsumo.

Barreras de entrada

Las barreras de entrada son mayoritariamente legales, las cuales impiden vender energía P2P entre generador y consumidor como se explica en el apartado legal del análisis PESTEL.

La forma de poder vender energía es obteniendo la figura legal de comercializadora, lo cual hace que muchas empresas cuyo “core” no es la energía eléctrica, no quieran introducirse en este modelo. Esto obligaría a aquella persona o entidad que quisiera vender su energía a terceros, a tener que hacerlo a través del pool del mercado eléctrico.

En cuanto a la industria del autoconsumo, a pesar de que el precio de los paneles solares se ha reducido de forma drástica, sigue siendo una elevada inversión inicial, lo que hace que muchos clientes no se puedan permitir un desembolso tan grande.

Sustitutos

Los posibles sustitos al autoconsumo con venta P2P de la energía sobrante son los siguientes:

- No hacer autoconsumo y utilizar una tarifa eléctrica tradicional.
- Acogerse a la tarifa de compensación ofrecida por la comercializadora del cliente.
- Establecerse como una comercializadora y vender el excedente de energía en el mercado eléctrico tradicional

Poder de negociación de los proveedores

En cuanto a los proveedores del desarrollo del producto, no debería suponer un problema ya que son varias las empresas que existen en España capaces de desarrollar esta tecnología.

Los contadores inteligentes son componentes estandarizados, por lo que el poder de negociación de estos proveedores es muy bajo.

Existen una gran cantidad de empresas dedicadas a la instalación de paneles solares. Aunque no sean proveedores de este modelo de negocio, es importante para que no tenga poder de negociación a la hora de implantar este modelo.

Poder de negociación de los clientes

El número de clientes finales que pueden instalarse un autoconsumo fotovoltaico es muy elevado, lo que reduce su poder de negociación.

Es cierto que el poder de los clientes depende de su tamaño y aquellas entidades que instalen potencias muy elevadas de autoconsumo, tienen un poder de negociación superior, mientras que aquellos clientes residenciales cuya instalación puede estar entre los 3-10kW, apenas tendrán poder de negociación.

Competición

En España no existe ninguna empresa que tenga desarrollado algún modelo de autoconsumo P2P, lo cual hace que sea un terreno muy interesante para emprender.

Por el contrario, existen empresas extranjeras que han sido capaces de desarrollar un modelo en el extranjero de venta de energía P2P como es el caso de LO3 Energy en Estado Unidos o Power Ledger en Australia.

Modelo de negocio energía P2P entre particulares

Actualmente los particulares con autoconsumo fotovoltaico instalado en sus hogares generan un excedente de energía durante las horas centrales del día que no son capaces de consumir.

En 2018 se eliminó el impuesto al sol, permitiendo no solo verter estos excedentes a la red sino ser compensados por los mismos. La compensación la paga la comercializadora a la persona con la instalación de autoconsumo, previa negociación entre ambos. El precio de compensación esta entre 0,04-0,05€/kWh.

Por lo tanto, una persona con esta instalación podría estar comprando la energía que le hace falta a un precio de 0,184611 €/kWh con la tarifa única sin discriminación horaria de Iberdrola (Iberdrola, 2021) y vendiendo su energía sobrante a un precio de 0,04€/kWh. Esto supone una diferencia superior al 350% entre el precio de venta y el precio de compra.

Con este producto el usuario propietario de la instalación de autoconsumo podría vender la energía sobrante a un precio por encima del precio de compensación, con lo que obtendría una mayor retribución económica y a un precio inferior al de mercado, lo que le asegura que siempre va a haber alguien dispuesto a comprársela de forma natural.

El obtener un mayor rendimiento por la energía excedentaria permitiría al usuario propietario de la instalación amortizar la misma en un periodo de tiempo menor al que lo haría con la compensación.

6.3.3 Estudio ahorro venta P2P vs compensación

Se realizó un estudio para establecer una comparativa entre el ahorro que supone para el propietario el uso del sistema de compensación y el modelo de venta de energía P2P.

Para realizar este estudio se tomaron los datos de una instalación de autoconsumo residencial fotovoltaico (Cali, 2019), en el que se registraron los datos de generación y de consumo de la vivienda, tal y como se puede ver en la *Figura 36* y *Figura 37*.

Los datos son consistentes con una instalación fotovoltaica de 5 kW a 4 de julio en San Diego (California, Estados Unidos). Para poder tomar los datos como válidos se comprobó que las horas de sol al año son similares en San Diego y en España, siendo las horas de sol en San Diego de 3055 horas al año (Current Results, n.d.) y las horas solares anuales en España 2500 (Selectra, 2021). El dato de España está muy influenciado por las horas de sol en las regiones del norte, Asturias, Cantabria Galicia, País Vasco y Navarra, teniendo el resto de las comunidades autónomas horas de sol similares a las de San Diego.

Otra de las hipótesis realizadas es que los hábitos de consumo son los mismos en Estados Unidos y en España.

Para el estudio se ha tomado un año entero, con dos días modelo (verano e invierno). Para el día de verano se han tomado los datos disponibles, mientras que para el modelo de invierno se ha reducido cuatro horas la incidencia solar para representar la caída en las horas de sol que se produce en verano.

Dado que el número de días de sol en España es de 300, se decidió suponer para la producción solar se tendrán 150 días con el modelo de verano y 150 días con el de invierno. Los 65 días restantes se supone una generación nula representando los días nublados.

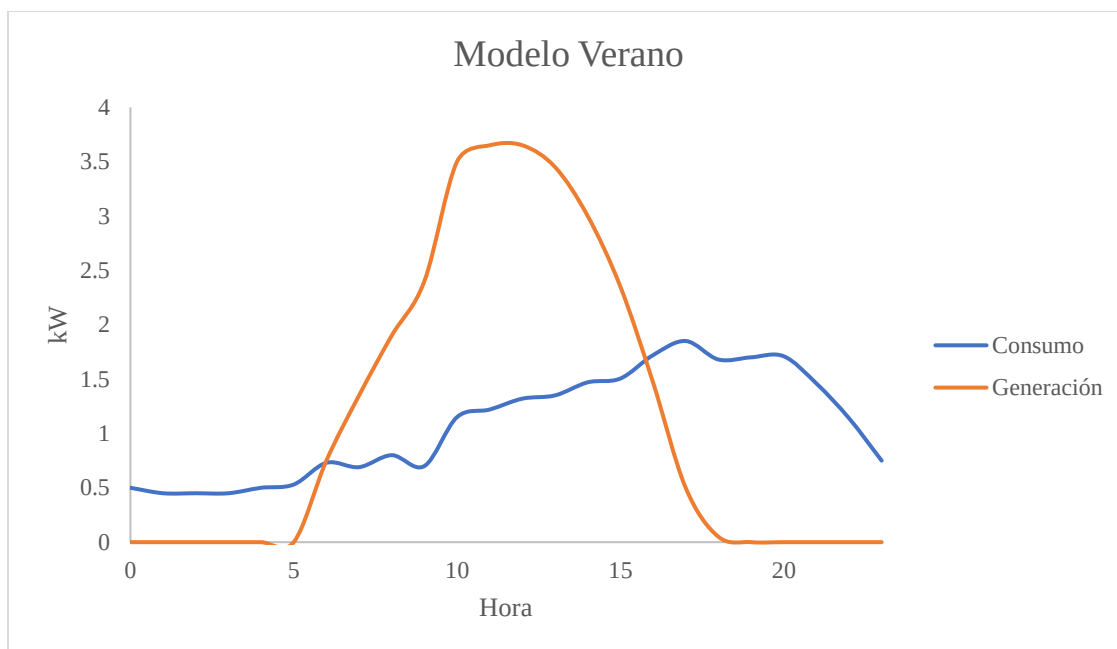


Figura 36 Modelo de día de verano. Fuente (Cali, 2019)

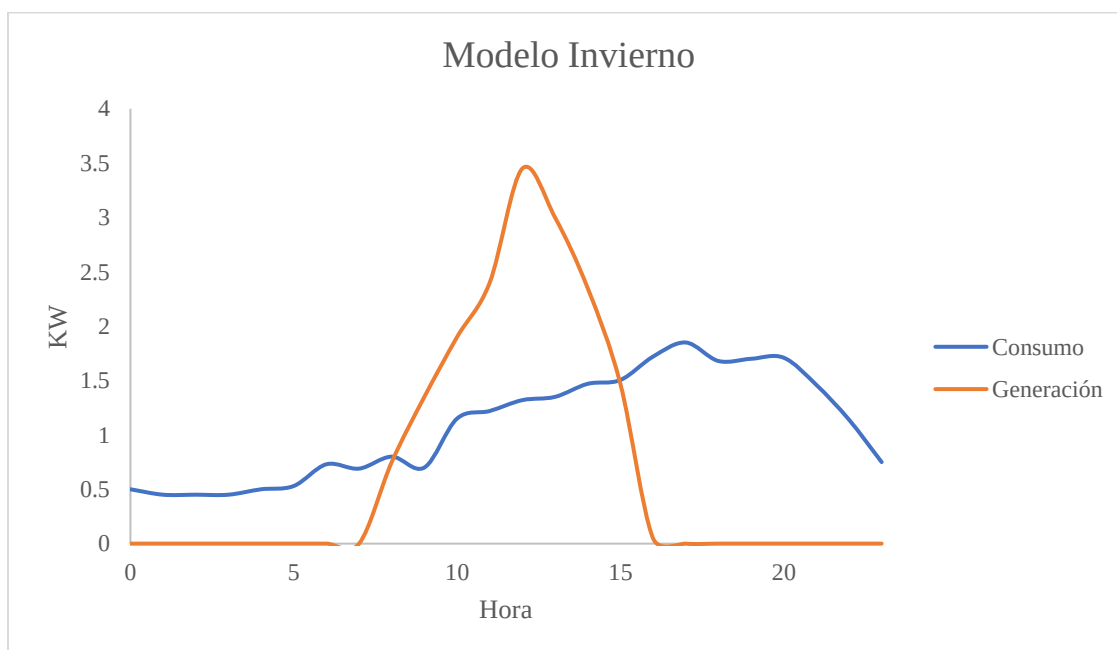


Figura 37 Modelo de día de invierno. Fuente: (Cali, 2019)

Para realizar la comparativa se supuso un precio de compensación de 0,045€/kWh, un precio de venta de energía P2P de 0,1062 €/kWh (sin impuestos) y una tarifa convencional única

sin discriminación horaria de 0,145150€/kWh (sin impuestos). La tarifa convencional escogida corresponde al plan estable de Iberdrola.

Los resultados se exponen en la *Tabla 6*.

	Compensación	P2P
Gasto anual	627,67 €	436,40 €
Ahorro anual	802,61 €	993,87 €
Ahorro 20 años	16.052,10 €	19.877,41 €

Tabla 6 Resultado ahorro modelo compensación vs P2P. Fuente: Elaboración propia

El ahorro que supone para el cliente con la instalación fotovoltaica es de 191,27 € anuales. Con respecto al periodo de amortización de la instalación, suponiendo un precio de 7.000€ por una instalación de 5 kW llave en mano (un precio en línea con el mercado español), este periodo pasa de 8,72 años en el caso de la compensación a 7,04 en el caso de la venta P2P de la energía. Esto supone una reducción de casi 2 años en la amortización.

Analizando el lado del consumidor que recibe la energía excedentaria, el poder comprar la energía a este precio P2P, le supone un ahorro de 192,02 € al año, tal y como se muestra en la *Tabla 7* con respecto a la tarifa convencional..

Ahorro anual consumidor con respecto a la tarifa convencional	Ahorro anual prosumidor con respecto a la compensación
192,02€	191,27 €

Tabla 7 Resultado ahorro prosumidor y consumidor. Fuente: Elaboración propia

6.3.4 Análisis de las 4Ps

Para poder entender mejor el producto y como proceder con su venta, se llevó a cabo el análisis de las 4Ps (“Price”, “Product”, “Point of Sale” y “Promotion”).

Producto

Se trata de una plataforma, disponible en formato App y ordenador en la que los usuarios prosumidores ofertan su energía excedentaria y los usuarios consumidores pujan por ella. La asignación de esta será la del consumidor que ofrezca el precio más alto.

Estará formado por una parte software que incluye la red blockchain en la que se toma cuenta de la energía intercambiada y el precio pactado, y la plataforma en la que usuario consumidor y prosumidor pactan el precio.

De esta forma, ambos clientes (prosumidor y consumidor), obtienen un ahorro anual en torno a 192€, lo que permite al prosumidor amortizar su instalación en menos tiempo y al consumidor pagar menos en su factura de la luz.

Precio

Antes de poner el precio hay que tener en cuenta que lo que se va a vender son Smart Meters, es decir, se va a cobrar al usuario por el dispositivo a instalar en su casa y nada más. A la hora de establecer un precio para vender se han considerado dos opciones.

- “One-time shop”: Los Smart Meters se venderían una única vez al precio de lo que se ahorra cada uno de ellos en un año, es decir, 192€.
- Alquiler: El Smart Meter se alquila por su uso, con una cuota anual del 50% de lo que se ahorra en un año (95€).

Finalmente, se ha optado por realizar un alquiler por usuario. Aunque con la venta directa de Smart Meters se obtienen unos flujos de caja mejores durante los primeros años, no aseguran la continuidad del negocio de aquí a diez años, ya que en este periodo de tiempo el mercado estará mucho más saturado.

En cambio, obtener ingresos a través del alquiler, a pesar de tener unos flujos de caja menores al principio, asegura la continuidad del negocio a lo largo del tiempo, ya que una instalación solar de este tipo tendrá una vida útil superior a 20 años. Además, el usuario puede ver como desde el primer momento en el que contrata el servicio.

Punto de Venta

Para este propósito hay que diferenciar entre dos tipos de clientes:

- Clientes que quieren hacer una nueva instalación de autoconsumo
- Clientes que ya tienen una instalación de autoconsumo

Con el objetivo de tener una mayor penetración entre aquellos usuarios que están planteándose tener una nueva instalación, la mejor forma de acercarse a ellos es a través de las empresas instaladoras de paneles fotovoltaicos.

Por este motivo, se plantea una alianza estratégica con instaladoras fotovoltaicas, de forma que estas pueden ofrecer su producto (la instalación de autoconsumo), complementado con esta solución blockchain que les permitiría obtener un mayor ahorro.

Por lo tanto, la forma principal de llegar a estos clientes de nueva instalación sería a través de esta alianza estratégico con nuevos clientes. Además, estos clientes también podrán contratar este producto a través del canal online en la propia web o a través de un canal telefónico, en caso de que la instaladora con la que quieran contratar no quiera participar en esta alianza.

El punto de venta para potenciales clientes que ya tengan una instalación será el canal online o el telefónico. En cualquier caso, no se utilizará ningún tipo de punto de venta físico, por lo menos durante el periodo inicial.

Promoción

Se realizarán dos tipos de promociones:

- A través de la alianza estratégica con las instaladoras
- A través de medidas de marketing

La función de la alianza en cuanto a la promoción afectará a clientes de nueva instalación ya que será la propia instaladora la que lo promocionará entre sus potenciales nuevos clientes porque les estaría ofreciendo un servicio novedoso que le permite diferenciarse de la competencia, así como ofrecer al cliente final un mayor ahorro.

La alianza también afecta a los clientes que ya tengan una instalación en cuanto a la promoción, puesto que una de las condiciones para la alianza será acceso a su base de antiguos clientes para poder venderles este producto con su apoyo.

Las iniciativas de marketing servirán para llegar a clientes de nueva instalación o de instalación existente. Estas medidas son las siguientes:

- Posicionamiento orgánico, a través de redes sociales y página web.

- Marketing digital, basado en un posicionamiento SEM y SEO.
- Apoyo del usuario prosumidor, dado que se trata de quien va a vender la energía, no hay mejor punto de venta ni de promoción que el mismo, ya que es el que más beneficio saca de que el usuario consumidor contrate el producto. Por este motivo se ofrecerán promociones para que sea el propio usuario prosumidor el que venda el producto a sus vecinos.

Además, dado que para el usuario prosumidor la instalación supone un gran desembolso económico, el hecho de que un usuario prosumidor recomiende a otro la compra de este producto tiene mucho valor. Por este motivo también se ofrecerán compensaciones por recomendaciones.

6.3.5 Business Model Canvas

Con el objetivo de poder entender mejor como funcionaría este negocio, se ha elaborado un business model canvas sobre este el modelo de negocio en cuestión.

Business Model Canvas B2C				
Key Partners	Key Activities	Value Propositions	Customer Relationships	Customer Segments
Instaladora de paneles solares Empresa desarrolladora de la plataforma y los Smart Meters.	Desarrollo de la plataforma	Mayor ahorro para en la factura eléctrica, para el prosumidor y el consumidor	Pago anual	Está destinado a autoconsumo residencial y de comercios Clientes de nueva instalación Clientes que ya tienen instalación
	Relación con la instaladora fotovoltaica		Atención al cliente	
	Captación de nuevos clientes	Ofrecer energía limpia y de km 0 al consumidor	Channels	
	Key Resources	Diferenciación a las empresas instaladoras con respecto a su competencia		
	Red blockchain	Reducir los años necesarios para la amortización de la instalación de autoconsumo	Página web	
	Recursos humanos		La empresa instaladora de fotovoltaica	
Cost Structure		Revenue Streams		
Salarios		Alquiler de Smart Meters		
Marketing				
Precio unitatio de cada Smart Meter				

Propuesta de valor

La propuesta de valor se apoya en varios pilares:

- Ahorro en la factura eléctrica
- Aumentar la rentabilidad de los paneles solares reduciendo su amortización
- Diferenciación con respecto a la competencia
- Energía limpia y de km 0

En primer lugar, el ahorro de la factura eléctrica superior al 11% anual para los consumos referencia del modelo utilizado, tanto para el consumidor como para el prosumidor.

El hecho de que el prosumidor ahorre un 13% extra sobre lo que se ahorraría con la compensación hace que se reduzca el periodo de amortización de la instalación, aumentando así la rentabilidad de estos. De esta forma se convierte en un impulsor de la compra de paneles solares para autoconsumo.

Por otro lado, la venta de energía limpia y de kilómetro 0 entre vecinos hace que el producto tenga un valor añadido, no solo por el ahorro que le genera al consumidor, sino porque se le ofrece la posibilidad de consumir energía limpia y sin apenas pérdidas en la red.

Por últimos, se ofrece una completa diferenciación con respecto al mercado del autoconsumo actual. Esto es algo de lo cual se aprovecha tanto este negocio como el de las empresas instaladoras con las que se llegue a una alianza estratégica.

Socios estratégicos

Hay dos socios clave en este modelo de negocio. En primer lugar, las instaladoras de paneles fotovoltaicos, las cuales servirán como canales de venta y de promoción.

En este modelo de negocio la instalación de placas solares no es una parte que se quiera realizar ya que eso sería otro negocio muy diferente, pero una alianza con estas instaladoras permitiría acceder a su base de clientes antiguas como a aquellos clientes que contacten con ellos para una instalación de autoconsumo.

Sería un acuerdo de beneficio mutuo, en el que la instaladora se ve beneficiada por poder utilizar este producto. Por norma general, “core” de estas empresas es la instalación fotovoltaica y

su mantenimiento, por lo tanto, venderían este producto como complemento a la instalación. Esto les permitiría diferenciarse del resto de la competencia, en un mercado muy saturado.

Por otro lado, el otro socio estratégico sería la empresa que lleve a cabo el desarrollo de la plataforma con la tecnología blockchain, aunque en realidad se les podría considerar como proveedores.

Es uno de los posibles puntos débiles del modelo, ya que hay que asegurar que la tecnología que se les compra funciona. Además, es muy importante que se realice una correcta transferencia del conocimiento y de la tecnología desarrollada por esta empresa al futuro equipo de este modelo. Por este motivo se ha contado con que hay un desarrollador contratado, trabajando con el equipo de la empresa externa, para asegurar esta correcta transferencia.

Actividades clave

Las actividades clave que hay que realizar son tres:

- El desarrollo de la plataforma en el inicio, la cual depende mayoritariamente de la empresa externa.
- Realizar los acuerdos con las empresas instaladoras es fundamental para poder acceder a su base de clientes.
- Captación de nuevos clientes, este es el punto clave a la hora de poder desarrollar el negocio. Para esto será fundamental realizar todas las iniciativas de marketing necesarias para captarlos.

Recursos Claves

Los recursos necesarios son los siguientes

- La red blockchain escogida, Stellar la cual permite el desarrollo de esta tecnología
- Los Smart Meters, los cuales serán desarrollados en la fase inicial, pero en los siguientes años se convertirán en un recurso clave sin el cual no se puede realizar el negocio.
- Los recursos humanos, sobre todo aquellos que tienen que ver con el mantenimiento de la tecnología

Relación con los clientes

La relación con el cliente termina en el momento de la compra, excluyendo el servicio de atención al cliente para cubrir posibles problemas de mantenimiento.

Esto es así porque al tratarse de una red blockchain, debe ser algo completamente descentralizado. En el momento en el que hay una entidad superior con más importancia que el resto, se estaría yendo en contra de los principios de una red de cadena de bloques. Es por este motivo por el que se monetiza por la venta del Smart Meter.

Segmentación de clientes

Este modelo de negocio se plantea para clientes residenciales, así como para comercios. La categoría de comercios correspondería a cualquier tienda o empresa que cerca de sus instalaciones tenga residencias, u otras tiendas cercanas a las que vender la energía sobrante.

Dentro de estos clientes se distinguen dos tipos:

- Clientes de nueva instalación, para los cuales la mejor forma de llegar a ellos es a través de las alianzas con las instaladoras de paneles.
- Clientes que ya tienen una instalación,

Canales de venta

Hay dos canales de venta disponible:

- Canales propios, serán la página web y el canal telefónico, más enfocado a captar clientes que ya tienen una instalación existente.
- Canales externos, será el resultado de la alianza con las instaladoras. Está enfocado en la venta para los clientes de nuevas instalaciones, aunque también en los que ya tienen gracias al acceso a sus bases de datos de antiguos clientes.

Estructura de ingresos

Los ingresos de este modelo de negocio provendrán de la venta de los Smart Meters. Como se ha comentado antes, no se puede cobrar por el uso de la blockchain, porque aunque algunas empresas lo hagan (AWS, IBM, Azure... En realidad, se podría considerar que venden una tarifa

interfaz para facilitarle la vida al usuario a la hora de gestionar la blockchain), esto sería ser una entidad superior dentro de la red, lo cual va en contra de la filosofía blockchain.

El producto vendible es el Smart Meter, y para establecer su precio de venta se ha tenido en cuenta el ahorro que genera y su propio coste. Este dispositivo tiene un coste 80 € por unidad, y el ahorro medio calculado para el caso ejemplo es de aproximadamente 192. De esta forma se ha establecido un alquiler anual de 95€ en concepto de alquiler de los Smar Meters.

Estructura de costes

Los costes se han clasificado por variables y fijos, siendo los variables los costes de los Smart Meters, y los costes fijos los gastos en marketing (especificados en las 4Ps) y en los salarios de los empleados, incluyendo las cotizaciones sociales.

En la *Tabla 8* se muestra la distribución de los costes variables.

Costes variables	
Raspberry pi	40 €
Conexión a internet e instalación	40 €
Precio por unidad	80 €

Tabla 8 Costes variables. Fuente: Elaboración propia

Se están utilizando precios conservadores, ya que tanto para el coste de la Raspberry Pi como el de instalación, se están utilizando precios de mercado, y en el caso de ser capaces de escalar el negocio, se podría hacer uso de la economía de escala para reducir los costes unitarios de estas partidas.

Los gastos de marketing se destinarán a realizar campañas publicitarias online, se ha supuesto un coste de 15.000 € mensuales, con los que debería ser suficiente para realizar campañas online con gran penetración.

En cuanto los costes en salarios de empleados se han estimado los siguientes gastos, mostrados en la *Tabla 9*.

At. Cliente 1	14.000 €
At. Cliente 2	14.000 €
Ventas 1	20.000 €
Ventas 2	20.000 €
Ventas 3	20.000 €
Marketing manager	35.000 €
Business developer	35.000 €
IT leader	45.000 €
IT 1	35.000 €
IT 2	35.000 €
Costes seguridad social	30%
TOTAL	354.900 €

Tabla 9 Costes salarios empleados. Fuente: Elaboración propia

Los costes mostrados en la *Tabla 9* son los previstos para el año 1, de cara a los siguientes años se supuesto un crecimiento del 40%, 35%, 30% y 25% en los cuatro años siguientes.

Finalmente, los costes de marketing se estiman en 180.000€ anuales.

6.4 MODELO DE NEGOCIO B2C

Con todos estos datos sobre precios de venta y costes se han realizado las estimaciones oportunas para entender el resultado del lanzamiento de este producto.

6.4.1 Hipótesis

Se han realizado las hipótesis necesarias para poder calcular el resultado de las ventas de este producto. Las hipótesis son las siguientes:

- La primera hipótesis tomada es que de los datos de autoconsumo que proporciona UNEF, este producto captará clientes de las instalaciones del sector comercial y residencial
- El CAGR de la industria de autoconsumo será de un 15%, cifra muy conservadora si se observa a los datos de crecimiento de la industria de UNEF.

- Las instalaciones de autoconsumo de estos dos sectores son de media 5 kW. Aunque es cierto que puede que para el sector comercial sean potencias superiores, y por tanto se venderán menos Smart Meters, se contrarrestará con el mayor número de usuarios consumidores asociados al prosumidor.
- Por cada usuario prosumidor se ha supuesto que existen 2 usuarios consumidores.
- Finalmente, se han supuesto ciertas hipótesis sobre los clientes captados por año, tanto de nueva instalación como clientes que ya disponían de una solución de autoconsumo.

La *Tabla 10* refleja un resumen de las hipótesis tomadas.

CAGR	15%
Autoconsumo residencial instalado en año 0 según UNEF (kW)	114
Autoconsumo comercial instalado en año 0 según UNEF (kW)	138
Instalación media (kW)	5
Captación nuevas instalaciones año 1	0,2%
Captación nuevas instalaciones año 2	0,6%
Captación nuevas instalaciones año 3	1,5%
Captación nuevas instalaciones año 4	2,7%
Captación nuevas instalaciones año 5	4,5%
Captación clientes existentes año 1	0,03%
Captación clientes existentes año 2	0,070%
Captación clientes existentes año 3	0,140%
Captación clientes existentes año 4	0,270%
Captación clientes existentes año 5	0,420%
Multiplicador clientes no generadores	2

Tabla 10 Resumen de hipótesis. Fuente: Elaboración propia

6.4.5 Resultados del modelo B2C

Dadas las hipótesis tomadas, y el modelo utilizado se obtuvieron los resultados expuestos en la *Tabla 11*.

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Previsión de instalación anual en España (UNEF)	252	290	333	383	441	507
Potencia instalada residencial (MW)	114	131	151	173	199	229
Potencia instalada comercial (MW)	138	159	183	210	241	278
Total clientes acumulados		155	686	2190	5458	11761
Total clientes captados		155	531	1505	3268	6303
Cientes de nueva instalación captados		116	400	1150	2380	4562
Cientes de nueva instalación potenciales		57,960	66,654	76,652	88,150	101,372
Cientes instalaciones existentes captados		39	131	355	888	1742
Cientes de instalación existente potenciales		129,276	187,120	253,374	328,876	414,646
Potencia ya instalada potencial clientes (MW)	646	936	1267	1644	2073	2557
Ingresos totales		44,090	195,399	624,183	1,555,567	3,352,000
Ingresos prosumidores		14,697	65,133	208,061	518,522	1,117,333
Ingresos consumidores		29,394	130,266	416,122	1,037,045	2,234,667
Costes totales		572,910	805,000	1,206,272	1,808,600	2,698,534
Costes variables		38,010	128,140	355,511	756,610	1,428,547
Smart meters		37,129	124,232	343,027	725,499	1,361,507
Plataformas de pago		882	3,908	12,484	31,111	67,040
Costes fijos		534,900	676,860	850,761	1,051,989	1,269,987
Marketing		180,000	180,000	180,000	180,000	180,000
Salarios		354,900	496,860	670,761	871,989	1,089,987
EBITDA		(528,820)	(609,601)	(582,089)	(253,033)	653,466

Tabla 11 Ingresos y gastos modelo de negocio B2C. Fuente: Elaboración propia

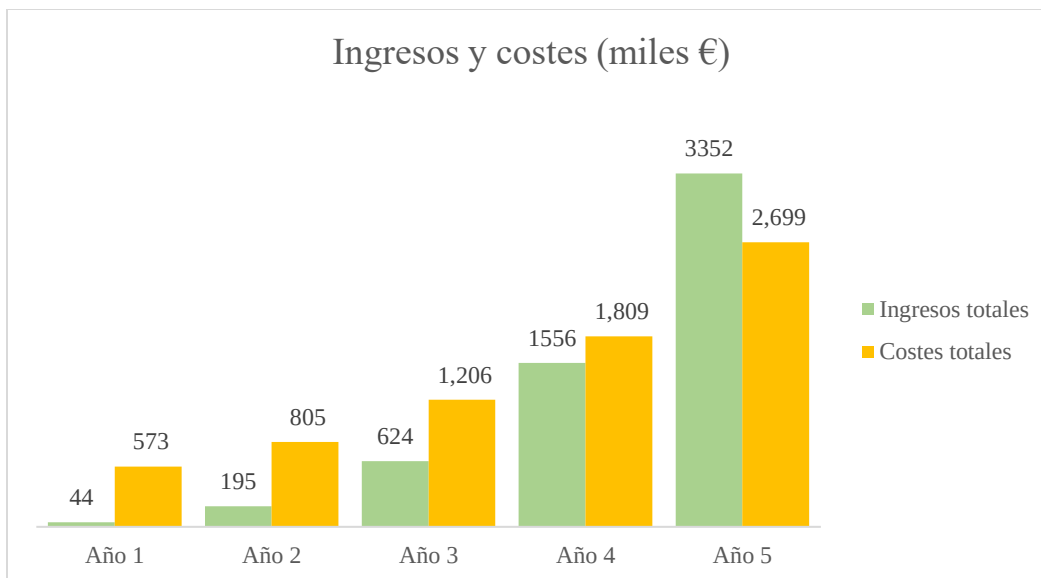


Figura 38 Ingresos y costes B2C. Fuente: Elaboración propia

Observando la *Figura 38*, se puede comprobar como la rentabilidad se alcanza en el año 5. Esto se debe a que la mayoría de los costes se concentran en conseguir nuevos clientes, ya que hasta que no se consiga cierto volumen no es rentable. La ventaja que se obtiene es que una vez se deja de captar clientes, el coste variable se reduce prácticamente a cero al no tener que pagar nuevos dispositivos.

Aunque es cierto que captar a un cliente cuesta mucho dinero (80€ de dispositivo más costes más los costes fijos) y que habrá cierta proporción que se cambien a la competencia que surja, se trata de un cliente que por lo general debería permanecer con esta empresa hasta el final de la vida útil de sus paneles solares. Por este motivo, y suponiendo una vida útil de 20 años en los paneles solares, cada usuario va a proporcionar un flujo de caja anual durante 20 años de 95€, lo que supone 1900 € por cada cliente.

CAPÍTULO 7 SEGUNDO MODELO DE NEGOCIO (B2B2G)

Con el objetivo de rentabilizar aún más este proyecto, se ha encontrado otra aplicación de este mismo producto, que comparte muchos de los recursos que tiene el modelo de negocio anterior.

El siguiente modelo de negocio tiene una aplicación menos evidente que la anterior, aunque está basado en el mismo producto.

El fondo del modelo seguirá siendo la venta de energía eléctrica excedentaria procedente de instalaciones de autoconsumo a posibles compradores que estén cerca de la generación, pero en este caso no será para instalaciones fotovoltaicas de pequeño tamaño como pueden ser las residenciales.

El modelo general al que aplicar este modelo serán aquellos complejos que pertenecen a una persona o entidad, pero que son disfrutados por terceras personas ya sea porque los están alquilando u otros motivos.

En este caso, las personas que disfrutan del complejo tienen que hacer frente a sus propios gastos de energía eléctrica, pero la persona o entidad propietaria del complejo instala el autoconsumo para hacer frente a sus propios gastos eléctricos, para darle un mejor servicio a quienes disfrutan del complejo o las dos razones al mismo tiempo.

Este segundo modelo tiene muchas particularidades ya que cada caso de aplicación será diferente, teniendo que adaptar cada venta a cada situación.

Se tratará de instalaciones fotovoltaicas mucho más grandes, para clientes con cierto tamaño, por lo que habrá pocos clientes, pero muchos ingresos por cliente.

A continuación, se exponen varios ejemplos de posibles situaciones en las que este producto tiene sentido:

- Ayuntamientos
- Centros comerciales

7.1 BUSINESS MODEL CANVAS B2B2G

Antes explicar cada una de las distintas aplicaciones de este modelo de negocio, se expone el “Business Model Canvas” de este nuevo modelo de negocio. Aunque se trate de una aplicación diferente, dado que comparte el mismo producto, es muy interesante combinar las dos versiones al mismo tiempo para aprovechar las sinergias que se generan entre ambos modelos. En la plantilla de a continuación, se ha subrayado en color verde, aquellos puntos que difieren o que son nuevos con respecto al modelo anterior.

Business Model Canvas B2B2G

Key Partners	Key Activities	Value Propositions	Customer Relationships	Customer Segments
Instaladora de paneles solares Empresa desarrolladora de la plataforma y los Smart Meters.	Desarrollo de la plataforma Relación con la instaladora fotovoltaica Captación de clientes aptos para el modelo	Ofrecer un mejor servicio y ahorro a sus clientes/ciudadanos Ofrecer energía limpia y de km 0 al consumidor Diferenciación a las empresas instaladoras con respecto a su competencia Reducir los años de amortización de la instalación de autoconsumo gracias a los ingresos que se generan	Pago anual Atención al cliente	Grandes clientes, que den servicio a otras personas o entidades Ayuntamientos, centros comerciales, complejos industriales...
	Key Resources Red blockchain Recursos humanos		Channels Página web La empresa instaladora de fotovoltaica Contacto directo con el propio cliente. Una búsqueda muy directa	
Cost Structure		Revenue Streams		
Salarios Marketing Precio unitario de cada Smart Meter		Se cobra una cuota en base al valor creado en concepto de alquiler de Smart Meter		

7.2 DIFERENCIAS CON EL MODELO B2C

Las diferencias con respecto al modelo de negocio P2P son las siguientes:

- En primer lugar, la propuesta de valor tiene un punto extra positivo para el negocio. Los clientes a los que se les vende el producto no están únicamente interesados en el beneficio económico que les produce, sino que el poder ofrecer un ahorro a sus usuarios propios, también le genera valor.
- Otra gran diferencia está en el tipo de cliente, ya que se trata de clientes grandes que pagan por la instalación de potencias elevadas, son menos clientes que en el modelo anterior, pero más grandes. Esto hace que la forma de captarlos sea diferente, ya que aunque la alianza estratégica seguiría en pie como fuente de captación, resulta muy efectivo un contacto directo con los potenciales clientes. Por este mismo motivo, el marketing a realizar será diferente al utilizado en P2P.
- La última gran diferencia es el cambio en la fuente de ingresos, en lugar de ser por la venta directa de Smart Meters, se hará una tarifa personalizada a cada proyecto, en la que se tendrán en cuenta factores como el coste de la instalación de los Smart Meters y el ahorro generado.

7.3 MODELO AYUNTAMIENTOS

En España existen 8131 municipios (INE, s.f.), por lo que se trata de un mercado potencial interesante. En este caso, el ayuntamiento instalaría paneles solares en las zonas públicas del municipio, bien para autoconsumo, o simplemente para ofrecerle a sus habitantes una tarifa de luz mucho más accesible.

Estos paneles solares se podrían instalar en sus polideportivos, el edificio del ayuntamiento, parques públicos, de forma que se consume la parte que se necesite, y la energía sobrante se vende entre los vecinos cercanos.

Con estas instalaciones, estaría ofreciendo un mejor servicio a sus ciudadanos, permitiéndoles tener una energía más barata que la convencional, y no solo eso, sino que además sería energía de origen renovable y km 0.

Para ello se ha realizado un modelo basándose en la idea del barrio solar existente en Zaragoza, en el que se instalaron 100 kWp en el tejado de un edificio municipal, de forma que los vecinos que lo desearan tenían derecho 0,5kWp de la instalación (EDP Solar, s.f.).

El modelo que se ha realizado consiste en que un ayuntamiento, instale placas solares para autoconsumo en los edificios municipales, como polideportivos, centros de convenciones, parkings, parques públicos...

La idea es parecida a la expuesta en P2P, el edificio grande consume parte de la energía generada por las placas solares, y la excedentaria se vende entre los hogares cercano (menos de 500 m).

7.3.1 Hipótesis

Cabe destacar que se trata de proyectos muy diferentes y que cada caso es muy particular, por lo que se ha hecho un modelo con hipótesis genéricas, sin que puedan ser estas de uso común para cualquier proyecto.

En primer lugar, se ha supuesto que el consumo eléctrico por edificio es de 90 kWh/ m² (Enectiva, 2015). Este consumo se utilizará como referencia para el consumo del edificio municipal, al cual se le supondrá una superficie de 1000 m², lo que supone un consumo de 90,000 kWh anuales.

Una vez se ha obtenido el consumo anual del edificio, se ha utilizado la distribución de consumo por horas que tiene lugar en el modelo anterior P2P.

Para establecer el consumo medio por hogar se ha utilizado el consumo medio por hogar en España que proporciona REE, 9,55 kWh al día (REE, s.f.). Toda la energía excedentaria de los paneles solares será vendida al completo a familias cercanas, sin verter nunca a la red para evitar posibles problemas legales.

Para la generación se ha interpolado los valores de generación de la instalación de 5kW para la que se disponía de datos, con una instalación fotovoltaica de 100kW de manera proporcional. De esta forma se está siendo conservadora con la hipótesis ya que este aumento no debería ser lineal, sino ligeramente exponencial.

Además, se han tenido en cuenta las horas de sol para que existan en una ciudad como Zaragoza, en la cual, el amanecer de media es a las 7:00 y el anochecer a las 19:20. De esta manera se aprovecha el ejemplo del barrio solar de EDP para el cual se estima que se generarán 150,000 kWh anuales (EDP Solar, s.f.).

En la *Tabla 12* se muestra un resumen de las hipótesis que se han tomado para realizar el modelo.

Hipótesis	Dato
Consumo eléctrico de un edificio por m ²	90 kWh/m ²
Superficie del edificio	1000 m ²
Consumo eléctrico por Hogar	9,55 kWh al día
Horas de luz al día	7:00-19:20
Distribución horaria del consumo	Igual que en P2P
Generación de paneles fotovoltaicos	Igual que en P2P

Tabla 12 Resumen hipótesis modelo general. Fuente: Elaboración propia

La *Tabla 13* se puede observar la distribución horaria y el consumo del edificio supuesto para el modelo.

Hora	Generación (kWh)	Consumo edificio (kWh)	Energía sobrante (kWh)	Consumo por hogar (kWh)	Hogares necesarios
0	0	4,77	0	0,18	0
1	0	4,30	0	0,17	0
2	0	4,30	0	0,17	0
3	0	4,30	0	0,17	0
4	0	4,77	0	0,18	0
5	0	5,06	0	0,20	0
6	0	6,97	0	0,27	0
7	0	6,59	0	0,26	0
8	8	7,64	0,36	0,30	1
9	24	6,68	17,32	0,26	67
10	40	10,98	29,02	0,43	68
11	64	11,65	52,35	0,45	116
12	68	12,60	55,40	0,49	113
13	68	12,89	55,11	0,50	110
14	64	14,04	49,96	0,54	92
15	50	14,37	35,63	0,56	64
16	36	16,42	19,58	0,64	31
17	20	17,66	2,34	0,68	3
18	2	16,04	0	0,62	0
19	0	16,23	0	0,63	0
20	0	16,33	0	0,63	0
21	0	13,94	0	0,54	0
22	0	10,88	0	0,42	0
23	0	7,16	0	0,28	0
TOTAL	444	246,58	317,07	9,55	116

Tabla 13 Generación y consumo de la instalación. Fuente: Elaboración propia

Se realizaron ciertas comprobaciones para validar el modelo. En primer lugar, la generación anual de estos paneles supone 133,200 kWh, que están por debajo de los 150,000 kWh que se generan en el barrio solar de Zaragoza con la misma potencia, pero siendo un resultado dentro del margen aceptable. El modelo se mantiene de esta forma ya así se hace de manera conservadora.

El gasto medio por hogar es de 57,9 € mensuales (CNMC, 2020), lo que supone 695€ anuales. Los datos escogidos para el modelo han sido la tarifa de estable de Iberdrola y 9,55 kWh consumidos diariamente (REE, s.f.), con lo que se llega a un consumo diario de 625€. Estos datos entran dentro del rango de aceptación y la diferencia se debe al pago del término de potencia en la factura de la luz.

7.3.2 Resultados del modelo Ayuntamientos

En la *Tabla 14* se muestran los resultados que no tienen que ver con la inversión directa en el producto.

Racional	Resultado
Hogares en los que instalar Smart Meter	116
kWh de media recibidos por hogar	2.73 kWh
Precio de venta del kWh	0.085€/kWh
Precio con impuestos para el consumidor (incluye IVA y el impuesto de la electricidad)	0.10797€/kWh
Ahorro anual consumidor (€)	62.84€
Ahorro anual consumidor (%)	11.9%
Coste total Smart Meters a instalar	9.283,17 €

Tabla 14 Resultados no económicos. Fuente: Elaboración propia

De los 9,55 kWh que se consumen de manera diaria por hogar en España, gracias a este sistema el usuario puede comprar 2,73 kWh a prácticamente la mitad de precio. Comparándolo con la tarifa estable de Iberdrola, el consumidor final se ahorra de media un 11,4% de su tarifa de la luz de manera anual, teniendo en cuenta el 21% de IVA y el 5% del impuesto de la electricidad, si el propietario del autoconsumo fija el precio en 0,085 €/kWh.

La *Tabla 15* representa los resultados económicos obtenidos sobre los que el Ayuntamiento, o propietario de la instalación decidirá si proceder con la inversión. Además, resultan fundamentales para poder establecer el precio de venta de este proyecto.

	Anual	20 años
Ingresos (€)	8.085,17	161.703,31
Ahorro (€)	7.291,96	145.839,26
Valor total creado (€)	15.377,13	307.542,57

Tabla 15 Resultados económicos para la aceptación de la inversión. Fuente: Elaboración propia

El coste íntegro de la instalación de esta plataforma correría a cargo del propio ayuntamiento, de forma que los ciudadanos beneficiados por este sistema no tengan que realizar ningún desembolso económico.

El beneficio que le supone al ayuntamiento el uso de esta plataforma viene dado por dos partidas:

- Los ingresos que se generan por la venta de electricidad a los hogares cercanos a la generación.
- El ahorro que disfrutan los hogares que compran esta energía.

Por lo tanto, el valor total creado es la suma de ambas partidas, en este caso sería un valor total creado de manera anual de 14.855,59 €. El valor total creado será siempre aproximadamente el mismo, pero el reparto entre las dos partidas dependerá directamente del precio al que quiera vender la electricidad el ayuntamiento.

Dado que la vida útil de los paneles se puede estimar entre 20 y 25 años, se ha calculado el valor total generado suponiendo una vida útil de 20 años. Dado que se puede considerar que todos los precios irán subiendo año a año con respecto a la inflación, el valor neto actual de del valor total creado en los 20 años es de 307,543 €.

Las cifras para comprar a la hora de establecer un precio de venta para toda la instalación serían el coste unitario de cada Smart Meter (80 €/ unidad), el número de Smart Meters totales a

instalar (116, lo que supone un coste total de 9.283,17€) y los valores totales creado de manera anual y en toda la vida útil (15.377 € y 307,543 € respectivamente).

7.4 WIZINK CENTER

Con el objetivo de dar más visibilidad se han buscado un ejemplo de aplicación práctica en un lugar real y se han calculado sus resultados.

El Wizink Center (antiguo Palacio de los Deportes) es un pabellón que acoge eventos durante todo el año y pertenece a la Comunidad de Madrid. En este pabellón tienen lugar conciertos, eventos deportivos, exposiciones...

Es un espacio con mucha superficie disponible para instalar placas fotovoltaicas y situado en plena ciudad de Madrid, con una gran densidad de población. En la *Figura 39* se puede comprobar la gran superficie de la que dispone.

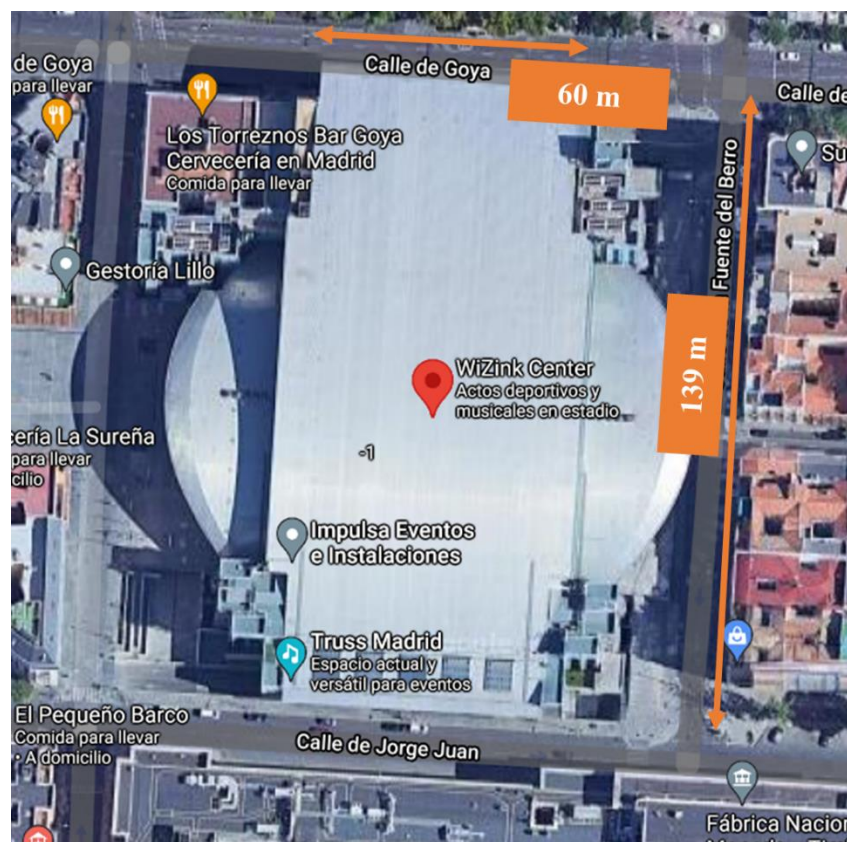


Figura 39 Superficie Wizink Center. Fuente: Google maps

En la *Figura 40* se puede ver la gran densidad de población que se recoge en un radio de 500 m.

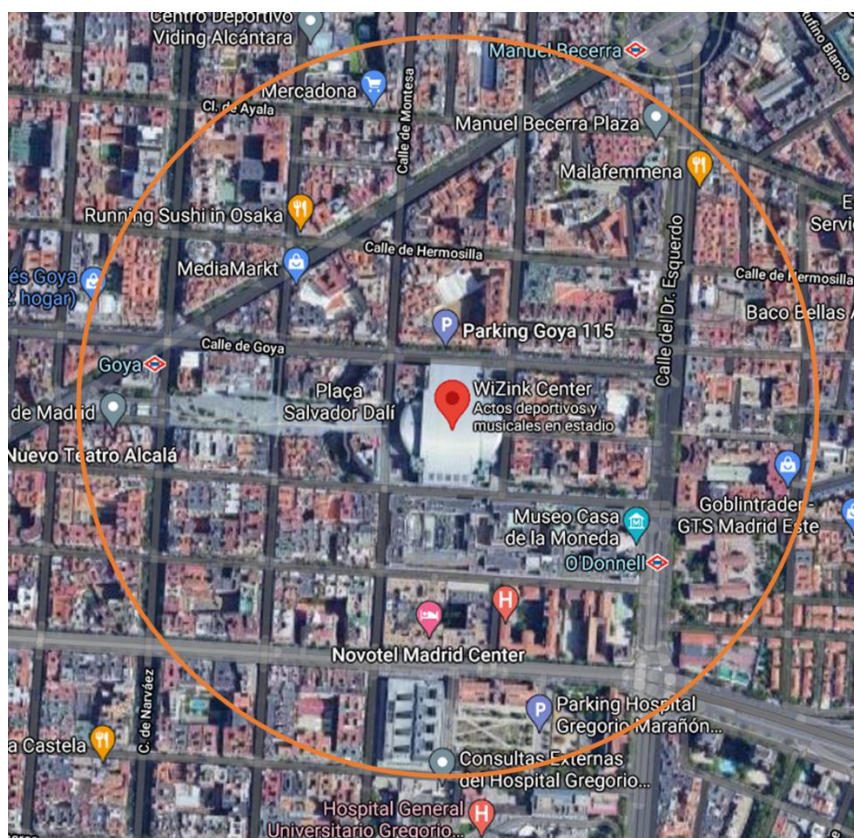


Figura 40 Radio de 500 m sobre el Wizink Center. Fuente: Google maps

Teniendo en cuenta la situación privilegiada de la que dispone este espacio, la hace una localización ideal para la instalación de este producto.

7.4.1 Hipótesis

Para este caso particular se ha tenido en cuenta el consumo anual que tuvo el Wizink Center, 2,84 millones de kWh (El periódico de la energía, 2017) y los eventos que se realizan al año, 156 (Wizink Center, s.f.). Para tener en cuenta el efecto de los eventos en el consumo energético, se ha supuesto que todos son a partir de las 18:00 y que tienen una duración de 4 horas requiriendo una potencia aproximada de 1000 kW.

Se ha supuesto una instalación de 700 kW en la superficie disponible del Wizink Center, la cual debería ser suficiente.

El resto de las hipótesis y razonamientos han sido los mismo que para el modelo de genérico explicado anteriormente.

7.4.2 Resultados Wizink Center

Los resultados no económicos se exponen en la *Tabla 16*.

Racional	Resultado
Hogares en los que instalar Smart Meter	646
kWh de media por hogar al día	2.41 kWh
Precio de venta del kWh	0.09€/kWh
Precio con impuestos para el consumidor (incluye IVA y el impuesto de la electricidad)	0.11€/kWh
Ahorro anual consumidor (€)	62,74 €
Ahorro anual consumidor (%)	11.9%
Coste total Smart Meters a instalar	58,252.59€

Tabla 16 Resultados no económicos caso Wizink Center. Fuente: Elaboración propia

En la *Tabla 17* se pueden ver los resultados económicos para el estudio de la viabilidad de la inversión.

	Anual	20 años
Ingresos	42.117,38 €	842.347,65
Ahorro	40.545,02 €	810.900,47
Valor creado	82.662,41 €	1.653.248,12

Tabla 17 Resultados económicos sobre el caso Wizink Cener. Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos son semejantes a los que se obtuvieron en el caso genérico, teniendo en cuenta el aumento del valor creado dada la mayor potencia instalada.

7.5 CENTROS COMERCIALES

En esta situación el producto el cliente que disfrutará de la energía eléctrica sobrante, no serán particulares, sino que serán entidades o personas que dependen directamente del dueño de la instalación.

En este ejemplo se detalla el caso de uso para un centro comercial, pero se puede aplicar a otro tipo de situaciones como complejos industriales, parques de oficinas alquiladas...

El centro comercial que quiera instalar autoconsumo en su complejo ya sea en el tejado, superficies libres, parking...Utilizará parte de esa energía para consumo propio de las zonas comunes como puede ser el aire acondicionado, y el resto la energía excedentaria la vendería a las propias tiendas del centro comercial a un precio más barato que el de mercado.

Gracias a la solución blockchain, se podría trazar que energía están consumiendo las zonas comunes del centro comercial y vender la energía sobrante entre las tiendas.

Es una forma de dar un mejor servicio a las tiendas que están alquiladas en el centro comercial, ya que por un lado se les ofrece energía más barata de la que podrían conseguir por su cuenta, y por el otro, se les ofrece energía limpia, lo que puede suponer un punto positivo para el marketing de la tienda.

La gran ventaja de este sistema es que en un centro comercial hay un número reducido de tiendas, lo que disminuye considerablemente el número de Smart Meters a instalar, y por tanto el coste inicial de la inversión.

7.5.1 Hipótesis

Para realizar este estudio se han utilizado los datos de un centro comercial y se han tomado ciertas hipótesis, mostradas en la *Tabla 18*.

Hipótesis	Dato
Consumo anual centro comercial (kWh)	3.550.000
Superficie (m2)	21.000
Potencia instalada (kW)	650
Consumo zonas comunes	50%

Tabla 18 Hipótesis modelo centros comerciales. Fuente: Elaboración propia

7.5.2 Resultado centro comercial

Los resultados obtenidos se enseñan en la *Tabla 19*.

Racional	Resultado
kWh diarios por tienda	37 kWh
Precio de venta del kWh	0.085€/kWh
Precio con impuestos para el consumidor (incluye IVA y el impuesto de la electricidad)	0.11€/kWh
Ahorro anual consumidor (€)	800€
Coste total Smart Meters a instalar	2,480€

Tabla 19 Resultados no económicos centros comerciales. Fuente: Elaboración propia

Los resultados con relación al valor generado se pueden ver en la *Tabla 20*.

	Anual	20 años
Ingresos totales	34.701,24 €	694.024,74
Ahorro total	31.643,85 €	632.877,08
Valor creado	66.345,09 €	1.326.901,82 €

Tabla 20 Resultados económicos caso centros comerciales. Fuente elaboración propia

7.6 RESULTADOS MODELO DE NEGOCIO B2C Y B2B2G

En consecuencia, dadas las sinergias que comparten ambos, se ha decidido juntarlos en un mismo modelo financiero de ingresos y costes.

Por el mismo motivo que en el caso B2C, se ha decidido utilizar un modelo basado en el alquiler. Para ello se ha calculado cuanto valor se genera de media por potencia instalada (kW) así como el coste por kW en cada uno de los tipos de proyectos.

La cuota de alquiler que se ha decidido utilizar es del 50% del valor generado, al igual que en B2C. Las hipótesis de la potencia que se va a poder captar quedan reflejadas en la *Tabla 21* así como el plan financiero.

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Previsión de instalación anual en España (UNEF)	252	290	333	383	441	507
Potencia instalada residencial (MW)	114	131	151	173	199	229
Potencia instalada comercial (MW)	138	159	183	210	241	278
Total clientes acumulados P2P		155	686	2,190	5,458	11,761
Total clientes captados P2P		155	531	1,505	3,268	6,303
Cientes de nueva instalación captados		116	400	1,150	2,380	4,562
Cientes de nueva instalación potenciales		57,960	66,654	76,652	88,150	101,372
Cientes instalaciones existentes captados		39	131	355	888	1742
Cientes de instalación existente potenciales		129,276	187,120	253,374	328,876	414,646
Potencia ya instalada potencial clientes (MW)	646	936	1,267	1,644	2,073	2,557
Potencia acumulada proyectos genéricos (kW)		300	900	2,000	4,000	7,000
Potencia en proyectos genéricos (kW)		300	600	1,100	2,000	3,000
Potencia acumulada centros comerciales (kW)		300	900	2,000	4,000	7,000
Potencia en centros comerciales (MW)		300	600	1,100	2,000	3,000
Ingresos totales		81,590	307,899	874,183	2,055,567	4,227,000
Ingresos por modelo I		44,090	195,399	624,183	1,555,567	3,352,000
Ingresos prosumidores		14,697	65,133	208,061	518,522	1,117,333
Ingresos consumidores		29,394	130,266	416,122	1,037,045	2,234,667
Ingresos por modelo II		37,500	112,500	250,000	500,000	875,000
Ingresos proyectos genéricos		22,500	67,500	150,000	300,000	525,000
Ingresos proyectos centros comerciales		15,000	45,000	100,000	200,000	350,000
Costes totales		604,110	865,840	1,314,952	2,001,400	2,979,334
Costes variables		69,210	188,980	464,191	949,410	1,709,347
Smart meters P2P		37,129	124,232	343,027	725,499	1,361,507
Plataformas de pago		882	3,908	12,484	31,111	67,040
Smart meters genéricos		30,000	58,500	104,500	185,000	270,000
Smart meters centros comerciales		1,200	2,340	4,180	7,800	10,800
Costes fijos		534,900	676,860	850,761	1,051,989	1,269,987
Marketing		180,000	180,000	180,000	180,000	180,000
Salarios		354,900	496,860	670,761	871,989	1,089,987
EBITDA		(522,520)	(557,941)	(440,769)	54,167	1,247,666

Tabla 21 Ingresos y gastos modelo de negocio B2C & B2B. Fuente: Elaboración propia

En la *Figura 41* se puede observar como mejora los resultados introducir este tipo de proyectos al modelo de negocio.

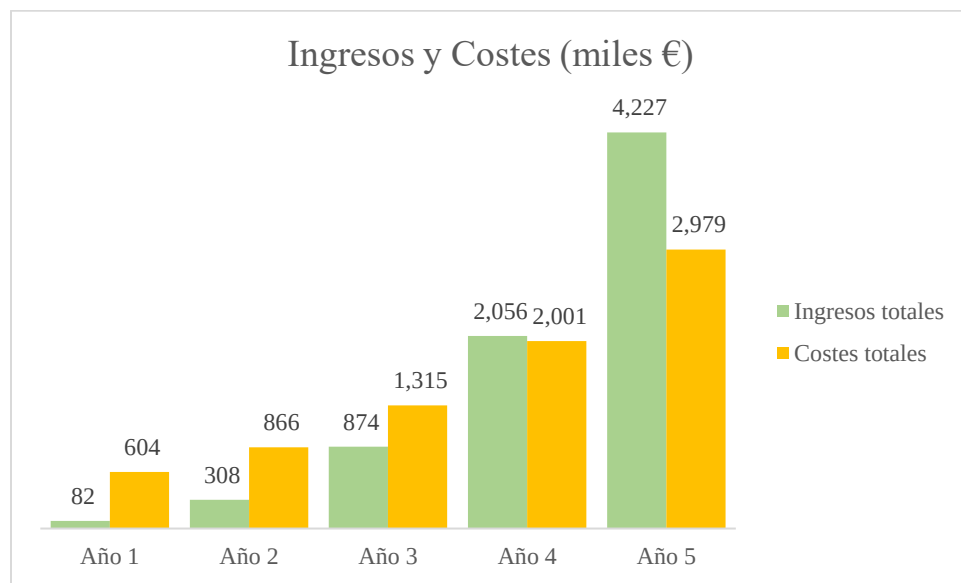


Figura 41 Ingresos y costes B2C & B2B. Fuente: Elaboración propia

Introducir el modelo B2B aumenta los ingresos, sin cambiar prácticamente los costes. De hecho, la rentabilidad se consigue un año antes que en el modelo anterior, es decir, en el año 4.

Además, la rentabilidad en el año 5 pasa a ser prácticamente el doble, así como menos pérdidas en los tres primeros años.

CAPÍTULO 8 CONCLUSIONES

8.1 TECNOLOGÍA E INDUSTRIA

Blockchain es una de las tecnologías más prometedoras en el corto y medio plazo. A pesar de que lo más sonado sobre blockchain siempre es Bitcoin y su precio, la verdad es que hay mucho más detrás de blockchain. La tecnología distribuida tiene multitud de aplicaciones prácticas, que permiten desarrollar modelos de negocio con mucho potencial, más allá de las criptomonedas y de sustituir al dinero.

En concreto una de las aplicaciones prácticas que otorga blockchain y que no es tan famosa, es la capacidad para hacer negocios “Peer to Peer”, es decir, directamente entre dos particulares. Rompe el paradigma de que tenga que existir una tercera entidad que de confianza a las dos partes que no se conocen y quieren hacer negocios. En este proyecto, esas entidades son las compañías eléctricas.

Blockchain permite que la confianza la genere la propia tecnología en lugar del intermediario.

Este trabajo de fin de máster ha decidido centrarse en su aplicación en el mundo de la fotovoltaica, concretamente en el autoconsumo.

Garantizar una transición hacia un modelo de energía renovable es fundamental para poder mantener nuestro estilo de vida en el futuro. En línea con este argumento, el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC) establece como objetivo para el 2030 que se alcance la cifra de 37 GW en potencia fotovoltaica instalada en España.

Pero no tiene sentido que toda esta generación sean grandes plantas fotovoltaicas que inyecten energía en la red. Es aquí donde entra en juego el autoconsumo, permitiendo que sean los consumidores quienes generen su propia energía, siendo esta la forma más eficiente para la distribución eléctrica, es decir, una generación distribuida.

En el PNIEC se indica que se debe fomentar en gran medida el autoconsumo, pasando a ser este una de las fuentes principales de generación en España. Es por esto que el autoconsumo

va a experimentar un crecimiento muy marcado en los próximos años. UNEF estima que en torno al 20 % de los 37 GW serán instalaciones de autoconsumo.

Fomentar el autoconsumo no tiene como única ventaja el consumo de energía renovable (lo cual es un aspecto muy importante), sino que además supone una forma de ahorro para el consumidor, al ahorrarse la energía que generan sus placas fotovoltaicas.

El inconveniente que tiene el autoconsumo actualmente es la diferencia en la cantidad de energía generada dependiendo de la hora del día, lo que hace que estas instalaciones tengan excedentes. En España las posibilidades para estos excedentes son muy reducidas, teniendo que acogerse al plan de compensación o vender en el mercado eléctrico. Siendo estas soluciones injustas en cuanto a precios o ineficientes.

En consecuencia, en este proyecto se han estudiado los efectos que tendría desarrollar una plataforma que permita a los usuarios vender este excedente de energía a otros particulares cercanos a la generación a través de la red de distribución. Siempre se ha mantenido la restricción de que esta compraventa tenga lugar entre usuarios a menos de 500 metros ya que el objetivo último de esta plataforma es fomentar el autoconsumo y no simplemente crear un mercado de energía entre particulares

En el desarrollo de esta plataforma es donde entra en juego el uso de blockchain, ya que es la tecnología que permite a los particulares comprar y venderse directamente entre ellos la energía sin la necesidad de que ningún tercero gestione las transacciones. Es aquí donde se rompe un paradigma ya que las transacciones de energía y económicas tienen lugar directamente entre dos particulares.

Además, la tecnología aporta la garantía y la velocidad suficiente como para acreditar en tiempo real que se consumen y generan las mismas cantidades de energía. De una forma más eficiente de lo que lo haría una tercera parte.

Por otra parte, como es por todos conocido, los modelos de negocio P2P han ganado en importancia y peso en los últimos años (i.e. Aribnb, Uber, Blablacar, Wallapop...). ¿Hasta cuándo se puede resistir el mercado eléctrico a hacer este cambio?

Es cierto que la legislación actual no permite ventas directas entre usuarios de autoconsumo actualmente ya que está muy anticuada. Por poner un ejemplo, en teoría una persona no puede cargar el teléfono si no es en su casa ya que solo las comercializadoras pueden transferir energía. Pero lo lógico sería que con la necesidad de fomentar esta tecnología se permitiera como ya sucede en otros países como EEUU o Australia. De hecho, en el PNIEC se indica lo siguiente: *“Es necesario analizar también la posibilidad de desarrollo legislativo para contratos bilaterales e intercambios de energía entre autoconsumidores y consumidores mediante plataformas para fomentar el intercambio entre pares y monitorizar las transacciones”* (Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030, 2020). Además, la legislación de la UE pone por delante el desarrollo de tecnologías sostenibles. Es por esto por lo que se puede prever que en un futuro no lejano se abre la puerta a este tipo de plataformas.

8.2 MODELOS DE NEGOCIO

En primer lugar, la unión de los dos modelos B2C y B2B permite obtener rentabilidades muy superiores a las que se obtendrían por separado, de forma que a partir del año 4 el modelo es rentable.

El modelo de alquiler permite obtener unos flujos de caja más prolongados en el tiempo, protegiendo el modelo frente a posibles saturaciones del mercado que sí afectarían si se utilizase un modelo de “one-time shop”.

Por la propia naturaleza del negocio, muchos de los clientes seguirán siéndolo durante muchos años, teniendo en cuenta que la vida útil de los paneles solares es superior a 20 años. Combinando este hecho con el alquiler anual, hace que se tengan unos ingresos recurrentes durante mucho tiempo, por lo que cada cliente otorgará unos flujos de caja predecibles a lo largo de la vida de sus paneles fotovoltaicos. La suma de los flujos de caja que inyectará un cliente B2C será de 1900 € durante la vida útil de su instalación.

El alquiler de los contadores por su uso ya se hace con los contadores eléctricos que están instalados en España. Este es uno de los modelos a imitar.

El coste de captación de los clientes es elevado debido al alto precio de los dispositivos, pero una vez se deja de captar clientes los márgenes son muy elevados. Si en el año 6 no se quisiera

continuar captando clientes el margen de beneficio sería aproximadamente del 50%, que sumado a la garantía de seguir percibiendo buena parte de los ingresos lo convierte en una gran fortaleza.

La alianza estratégica con las instaladoras de placas fotovoltaicas es muy útil ya que permite que este producto se venda dentro de su “pack”, haciendo que sea mucho más sencilla su penetración. La instaladora obtiene el beneficio de prestar un mejor producto global, y este modelo se beneficiaría de su capacidad para captar clientes.

Finalmente se trata de un modelo fácilmente escalable a otras regiones al tratarse de un producto de gran componente “software”. Sin apenas incremento en los costes fijos, este modelo se puede expandir a otros países fácilmente.

Se trata de un modelo que genera valor por sí mismo, y que por tanto es capaz de contribuir a la sociedad de manera sostenida en el tiempo y no de forma puntual.

Gracias a este modelo de negocio se promueve la instalación de potencia limpia (prosumidores), así como el consumo de energía limpia (consumidores), Algo necesario para cambiar el mix energético a un modelo sostenible. Además, gracias a la generación distribuida se permite aumentar la eficiencia de la red, reduciendo las pérdidas de transporte y distribución, así como tener una infraestructura más pequeña en estas dos redes.

Finalmente, el hecho de que este modelo sea rentable por sí solo permite incidir directamente en el precio de la electricidad. Lo cual abarata el coste de la luz para quienes disfruten de este servicio. Además, se le está otorgando a los Ayuntamientos una herramienta para luchar de manera directa contra la pobreza energética, ya que pueden ofrecer a hogares en esta situación una energía más barata.

En resumen, la propuesta de este trabajo es un modelo de negocio disruptivo y con beneficios para la sociedad en la que se aúnan las dos grandes revoluciones de nuestro tiempo: la verde y la digital.

ANEXOS

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Este proyecto ha tenido siempre presente dos aspectos fundamentales. Por un lado, aprender sobre la nueva tecnología blockchain, y por el otro aplicar lo aprendido a un modelo de negocio que permita aportar a la sociedad sostenibilidad.

Es por esto que este proyecto se encuentra alineado con varios de los objetivos de desarrollo sostenible establecidos por la ONU para 2030 (Organización de las Naciones Unidas, s.f.).

Los objetivos con los que se alinea directamente este proyecto de fin de máster son los siguientes:

- Energía asequible y no contaminante.
- Trabajo decente y crecimiento económico.
- Acción por el clima.

Cabe destacar que, aunque el modelo de negocio desarrollado influye principalmente sobre estos objetivos, los demás modelos que se han estudiado se han alineado con estos u otros objetivos de desarrollo sostenible.

Energía asequible y no contaminante

Este proyecto trata de fomentar la generación distribuida mediante el autoconsumo. La energía fotovoltaica es una de las fuentes de energía sostenibles de la actualidad y del futuro ya que es renovable y por tanto sostenible y responsable con el medio ambiente.

Pero no solo fomenta el uso de energía renovables, sino que además se pretende incidir directamente sobre el precio al que acceden los consumidores a la energía eléctrica. Además, una de las aplicaciones directas de este modelo de negocio es que los Ayuntamientos puedan vender energía a las personas más desfavorecidas.

Además, los usuarios con generación podrán recibir un mayor ingreso por tener autoconsumo, recibiendo un precio más justo por la compensación de sus excedentes.

Trabajo decente y crecimiento económico

En este trabajo se trata de un proyecto de emprendimiento, que tendrá como consecuencia la generación de empleo, para los que se han provisto sueldos siempre por encima del salario mínimo interprofesional.

Por otro lado, se está creando un nuevo modelo de negocio que generará actividad económica, tanto directa como indirecta, ya que su resultado esperado es que fomente las instalaciones de autoconsumo.

Acción por el clima

La solución propuesta promueve la descarbonización del consumo eléctrico, ya que fomenta la instalación de placas fotovoltaicas, lo que tendría como consecuencia una reducción en las emisiones de CO₂ y otros compuestos nocivos.

MOTIVOS POR LOS QUE LA LEY DEBERÍA PERMITIR LA VENTA DE ENERGÍA ELÉCTRICA P2P EN AUTOCONSUMO

Dados los objetivos que existen en España para el 2030 establecidos en el PNIEC, se hace difícil pensar que se van a poder llegar a los 37 GW de potencia fotovoltaica instalada en España en 2030, si no se fomenta de manera contundente su instalación. Ya que actualmente hay en torno a 12 GW (Roca, 2021), lo que supone más que triplicar esta cifra en 9 años.

La UNEF estima que de estos 37 GW, aproximadamente 7,4 GW serán de autoconsumo (Molina, 2019), lo cual hace ver que se necesitan grandes incentivos para que esto se pueda llevar a cabo. El modelo que se establece en este trabajo de fin de máster se pretende que los particulares puedan vender libremente la energía excedentaria, pudiendo así rentabilizar la inversión en el autoconsumo, fomentando su instalación.

El autor de este proyecto no tiene ninguna duda de que en algún momento esto se acabará permitiendo como ya sucede en otros países como EEUU o Australia. Pero el objetivo de este anexo no es simplemente indicar que la ley tiene que cambiar para poder “hacer negocio”, pues este nunca ha sido el fin último del proyecto, sino el realizar un proyecto que aporte valor a la sociedad.

Para que este modelo de negocio pueda llevarse a cabo, lo que se propone es la legislación permita la venta de energía entre particulares, siempre y cuando se cumplan las mismas condiciones con las que se permite el autoconsumo compartido actualmente. Esto lo que implica es recoger algún tipo de limitación para que solo se pueda vender entre particulares cercanos, es decir, en torno a 500 metros de distancia.

Los beneficios que se obtendrían de este cambio legislativo son los siguientes:

- El permitir la venta de energía P2P, otorga al dueño de la instalación de autoconsumo una mayor rentabilidad sobre la misma, reduciendo la amortización 2 años según el modelo realizado. El precio al que la comercializadora le compensa es muy inferior al precio al que se puede comprar la electricidad.

Aumentando la rentabilidad del autoconsumo se promueve su instalación y no hay que olvidar que el autoconsumo es una fuente de energía 100% renovable y que debe ser uno de los pilares fundamentales en la generación eléctrica del futuro.

- La distancia entre generación y consumo se reduce enormemente, lo que maximiza el rendimiento de la red. Esto aumentaría su eficiencia al reducir por completo las pérdidas de la red de transporte. Pero además las pérdidas de distribución también se reducen ya que al haber generación distribuida en la red de distribución hay menos flujo de cargas y en consecuencia menos pérdidas. Si bien es cierto que podría darse el caso de existir flujos inversos si la demanda total es mayor que la generación durante las horas de valle, lo que podría aumentar las pérdidas. Pero esto no sería lo habitual, ya que la mayor parte de la generación tiene lugar durante las horas de punta.

Además, el hecho de tener una generación distribuida permite que las inversiones en infraestructura sean menores, ya que las cargas a transportar y distribuir sean mucho menores. Este ha sido el motivo por el cual se ha cambiado la factura de la luz en junio de 2021 (la saturación de la infraestructura), por lo que sería una forma de combatir este efecto.

- Otro factor muy importante es que se incide directamente en el precio de la luz de manera natural. Aquellos particulares que tengan un excedente de energía eléctrica la venderán a un precio entre la compensación y el precio de mercado, quedando este así

entre medias de manera natural. Además, a mayor número de instalaciones de autoconsumo en una misma zona, menor será el precio para los consumidores.

Este sistema puede ser una muy buena forma de que los ayuntamientos ofrezcan una solución a aquellas personas en situación de pobreza energética, abaratando la factura de la luz.

- Muchos de los nuevos modelos de negocio apuntan hacia un cambio de tendencia que se nota en el empoderamiento del consumidor, como es el caso de Uber, Airbnb, Wallapop... Es el propio usuario el que ofrece el contenido y no tiene que haber terceros que ofrezcan exclusivamente su contenido.

BIBLIOGRAFÍA

- A country's worth of power, no more!* (2021, mayo 18). Retrieved from Ethereum foundation blog: <https://www.hd-tecnologia.com/la-fundacion-ethereum-afirma-que-pronto-completaran-la-transicion-a-pos-reduciendo-el-consumo-energetico-y-liberando-las-gpus/>
- Abele, C. (n.d.). *HogarSense*. Retrieved from Historia energía solar fotovoltaica: <https://www.hogarsense.es/energia-solar/historia-energia-solar-fotovoltaica>
- Academy Binance*. (2020). Retrieved from <https://academy.binance.com/en/articles/history-of-blockchain>
- Amnistía Internacional. (2016). Retrieved from <https://www.amnesty.org/es/latest/campaigns/2016/06/drc-cobalt-child-labour/>
- BBC. (2021, febrero 22). *BBC*. Retrieved from <https://www.bbc.com/mundo/noticias-56049826>
- Beekhuizen, C. (2021, mayo 18). *Ethereum foundation blog*. Retrieved from A country's worth of power, no more!: <https://blog.ethereum.org/2021/05/18/country-power-no-more/>
- Beltramino, A. (2018, diciembre 18). *CoinTelegraph*. Retrieved from <https://es.cointelegraph.com/news/spanish-company-will-trace-renewable-energy-using-blockchain-technology>
- Binance Academy. (2021). *Tolerancia a las faltas bizantinas explicadas*. Retrieved from Binance Academy: <https://academy.binance.com/es/articles/byzantine-fault-tolerance-explained>
- Bit2me Academy. (n.d.). *¿Qué es PoA (Proof of Authority – Prueba de Autoridad)?* Retrieved from *¿Qué es PoA (Proof of Authority – Prueba de Autoridad)?*
- Bit2me academy. (n.d.). *Bit2me academy*. Retrieved from <https://academy.bit2me.com/que-son-las-dapps/>
- Bit2me Academy. (n.d.). *Bit2me Academy*. Retrieved from <https://academy.bit2me.com/que-es-proof-of-stake-pos/>
- Brown, C. A. (2010). *Energía del Sol. Revista Ciencia*.

- Cali, U. (2019). Towards the decentralized revolution in energy systems using blockchain technology. *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, 12.
- Carwow España. (2020, febrero 18). *Carwow España*. Retrieved from ¿Cuántos coches eléctricos e híbridos circulan por España?: <https://www.carwow.es/blog/cuantos-coches-electricos-hibridos-hay-espana#gref>
- CNMC. (2020, junio 26). *CNMC*. Retrieved from <https://www.cnmc.es/prensa/panel-hogares-energia-diciembre-2019-20200626>
- Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC). (2020, Junio 26). *Prensa: CNMC*. Retrieved from CNMC website: <https://www.cnmc.es/prensa/cnmc-sustitucion-contadores-20200626>
- Criptonoticias. (2021, junio 9). *Criptonoticias*. Retrieved from Qué son los contratos inteligentes: <https://www.criptonoticias.com/criptopedia/que-son-contratos-inteligentes-blockchain-criptomonedas/>
- Current Results. (n.d.). *Average Annual Sunshine in American Cities*. Retrieved from Current Results: <https://www.currentresults.com/Weather/US/average-annual-sunshine-by-city.php>
- demográfico, M. p. (2020). *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030*.
- Dwork C., N. M. (1992). *Pricing via Processing or Combating Junk Mail*.
- EDP Solar. (n.d.). *EDP solar*. Retrieved from Barrio Solar: compartiendo energía entre vecinos: <https://www.edp.com/es/innovacion/barrio-solar-compartiendo-energia-entre-vecinos>
- El Economista. (2020, Noviembre). Retrieved from <https://www.eleconomista.es/materia-prima/Cobalto>
- El Mundo. (2016, febrero 2). *El Mundo*. Retrieved from <https://www.elmundo.es/economia/2016/02/02/56b062f546163f6a508b4674.html>
- El periódico de la energía. (2017, marzo 24). *El periódico de la energía*. Retrieved from EDP, nuevo patrocinador del WiZink Center de Madrid, al que suministrará energía:

- <https://elperiodicodelaenergia.com/edp-nuevo-patrocinador-del-wizink-center-de-madrid-al-que-suministrara-energia/>
- Enectiva. (2015, junio 17). *Enectiva*. Retrieved from Energía en edificios de Oficinas: <https://www.enectiva.cz/es/blog/2015/06/ideas-energia-edificio-de-oficinas/>
- ESIC Business & Marketing School. (2018, septiembre). *ESIC*. Retrieved from <https://www.esic.edu/rethink/tecnologia/contratos-inteligentes-que-son-origenes-y-principales-aplicaciones>
- Forecasting, A. E. (2020, enero 16). Historia de la fotovoltaica en España: desde sus inicios en 1984 a sus objetivos para 2030. *El periódico de la energía*. Retrieved from <https://elperiodicodelaenergia.com/historia-de-la-fotovoltaica-en-espana-desde-sus-inicios-en-1984-a-sus-objetivos-para-2030/>
- Herrera-Joancomartí, C. P.-S. (2014). *Bitcoins y el problema*.
- Hilcu, M. (2021). *Subvenciones para placas solares para el autoconsumo*. Retrieved from Otovo: <https://www.otovo.es/blog/autoconsumo/subvenciones-placas-solares-autoconsumo/>
- Iberdrola. (2021). *Iberdrola plan estable*.
- I'MNOVATION. (n.d.). *I'MNOVATION*. Retrieved from GREENCHAIN: las energías renovables adoptan la tecnología blockchain: <https://www.imnovation-hub.com/es/transformacion-digital/greenchain-energias-renovables-blockchain/>
- INE. (n.d.). *Número de municipios por provincias, comunidades autónomas e islas*. Retrieved from INE: https://www.ine.es/daco/daco42/codmun/cod_num_muni_provincia_ccaa.htm
- Infoempleo. (n.d.). Retrieved from Infoempleo: <https://www.infoempleo.com/guias-informes/empleo-it-mujeres/perfiles/experta-blockchain.html>
- International Renewable Energy Agency. (2019). *RENEWABLE POWER GENERATION COSTS IN 2019*.

- Ipsos. (2020, enero 27). *Ipsos Noticias y Encuestas*. Retrieved from Ipsos:
<https://www.ipsos.com/es-es/el-76-de-los-espanoles-han-cambiado-sus-habitos-para-luchar-contr-el-cambio-climatico>
- Iredale, G. (2021, enero 06). *101 Blockchain*. Retrieved from <https://101blockchains.com/types-of-blockchain/>
- Jiménez, D. (2020, Octubre). *The Cointelegraph*. Retrieved from Telefónica tendrá acceso directo a la trazabilidad de la energía a través de GREENCHAIN®, la plataforma blockchain de Acciona: <https://es.cointelegraph.com/news/telefonica-will-have-direct-access-to-energy-traceability-through-greenchain-accionas-blockchain-platform>
- Kaspersky. (2014, Abril 14). Retrieved from <https://latam.kaspersky.com/blog/que-es-un-hash-y-como-funciona/2806/#:~:text=10%20Abr%202014-,Una%20funci%C3%B3n%20criptogr%C3%A1fica%20hash%2D%20usualmente%20conocida%20como%20%E2%80%9Chash%E2%80%9D%2D,tendr%C3%A1%20siempre%20la%20misma%20longitud.>
- KPMG. (2021, Mayo 10). *Autoconsumo y fondos europeos: una oportunidad para las empresas*. Retrieved from elPeriodico:
<https://www.elperiodico.com/es/activos/opinion/20210510/autoconsumo-fondos-europeos-oportunidad-empresas-11708296>
- Longás, S. (2020, Junio). *Autopista*. Retrieved from España, a la cola de Europa en puntos de recarga para coches eléctricos: ¿cuántos hay?: https://www.autopista.es/noticias-motor/espana-a-la-cola-de-europa-en-puntos-de-recarga-para-coches-electricos-cuantos-hay_159098_102.html
- López, A. (n.d.). *Sacyr*. Retrieved from CHARLES FRITTS, EL DESCONOCIDO INVENTOR DE LOS PANELES SOLARES: <https://www.sacyr.com/-/charles-fritts-el-desconocido-inventor-de-los-paneles-solares>
- Masters in solar. (2021, enero 22). *¿Cuál es el precio de la instalación de placas solares fotovoltaicas?* Retrieved from Masters in solar: <https://mastersinsolar.es/base-de->

conocimiento/paneles-solares/cual-es-el-precio-de-la-instalacion-de-placas-solares-fotovoltaicas/

Matesanz, V. (2018, Septiembre). *Computer Hoy*. Retrieved from 5 mentiras (y una verdad) sobre el uso del cobalto en los coches eléctricos:
<https://computerhoy.com/reportajes/motor/5-mentiras-verdad-cobalto-coches-electricos-302253>

Mckinsey. (2017, Septiembre). *Blockchain technology for supply chains—A must or a maybe?* Retrieved from <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/blockchain-technology-for-supply-chainsa-must-or-a-maybe>

Michael J. Fischer, N. A. (1985).

Molina, P. S. (2019, mayo 28). UNEF espera que se instalen 7,4 GW de autoconsumo para el año 2030. *pV magazine*. Retrieved from <https://www.pv-magazine.es/2019/05/28/unef-espera-que-se-instalen-74-gw-de-autoconsumo-para-el-ano-2030/>

Monera, F. (2015, febrero 16). *Suelo Solar*. Retrieved from Breve historia de la energía solar fotovoltaica: <https://suelosolar.com/noticias/autoconsumo/espana/16-2-2015/breve-historia-energia-solar-fotovoltaica>

Morningstar. (2021, Abril).

Mou, V. (2021). *Binance Academy*. Retrieved from Guía sobre los Oráculos Blockchain:
<https://academy.binance.com/es/articles/blockchain-oracles-explained>

Nagarajan, S. (2021, febrero 20). *Business Insider*. Retrieved from
<https://www.businessinsider.es/minadores-bitcoin-ganaron-1000-millones-mes-pasado-815315>

Nakamoto, S. (2008). *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*.

Ojea, L. (2019, Mayo). *El periódico de la energía*. Retrieved from El precio de las Garantías de Origen se dispara al aumentar el consumo de 'electricidad 100% renovable':
<https://elperiodicodelaenergia.com/el-precio-de-las-garantias-de-origen-se-dispara-al-aumentar-el-consumo-de-electricidad-100-renovable/>

- Organización de las Naciones Unidas. (n.d.). *ONU*. Retrieved from Objetivos de desarrollo sostenibles: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Óscar Granados. (2018, Octubre). *El País*. Retrieved from https://elpais.com/economia/2018/10/25/actualidad/1540467103_068535.html
- Power Ledger. (2019). *Power Ledger White Paper*.
- Preukschat, A. (2014, enero 16). *OroyFinanzas.com*. Retrieved from [https://www.oryofinanzas.com/2014/01/algorithm-sha-256-protocolo-bitcoin-secure-hash-algorithm/#:~:text=Una%20funci%C3%B3n%20hash%20es%20como,256%20bits%20\(32%20bytes\).](https://www.oryofinanzas.com/2014/01/algorithm-sha-256-protocolo-bitcoin-secure-hash-algorithm/#:~:text=Una%20funci%C3%B3n%20hash%20es%20como,256%20bits%20(32%20bytes).)
- Ramió, A. (2020, Mayo). *CriptoBlog*. Retrieved from Trazabilidad en Blockchain - Proyecto PorkChain.
- REE. (n.d.). *REE*. Retrieved from https://www.ree.es/sites/default/files/interactivos/como_consumimos_electricidad/como-varia-mi-consumo.html
- Robertson, J. (2019, Agosto). *BBC*. Retrieved from Cobalto: qué pasó con la burbuja del "oro azul" (y cuándo volverá a reactivarse): <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-49319245>
- Roca, R. (2021, abril 19). *El periódico de la energía*. Retrieved from <https://elperiodicodelaenergia.com/espana-supera-los-12-000-mw-instalados-de-solar-fotovoltaica/>
- Selectra. (2021, mayo 13). *¿Cuál es el número de horas solares anuales en España por provincia?* Retrieved from Selectra: <https://selectra.es/autoconsumo/info/provincias>
- Selectra. (2021). *Autoconsumo con excedentes: ¿compensación simplificada o venta de energía?* Retrieved from Selectra: <https://selectra.es/autoconsumo/info/tarifas>

- Selectra. (2021, abril 13). *Tarifasgasluz by Selectra*. Retrieved from <https://tarifasgasluz.com/autoconsumo/normativa/compensacion-de-excedentes#:~:text=El%20precio%20de%20los%20excedentes,en%20la%20web%20del%20ESIOS>.
- Selectra. (n.d.). *Selectra*. Retrieved from Impuesto al sol en España: ¿Qué es y por qué se derogó?
- Selectra. (n.d.). *Tarifaluzhora*. Retrieved from <https://tarifaluzhora.es/info/precio-kwh>
- Share&Charge. (n.d.). *Peer-2-Peer Germany*. Retrieved from <https://shareandcharge.com/peer2peer-germany/>
- Solar Energía. (n.d.). *Solar Energía*. Retrieved from Historia de la energía solar: <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar/historia>
- UNEF. (2019). *Garantías de Origen*.
- UNEF. (2020). *Informe Anual 2020 Unión Española Fotovoltaica*.
- UNEF. (2021, enero 29). *El autoconsumo muestra su resiliencia y avanza un 30%*. Retrieved from <https://unef.es/2021/01/el-autoconsumo-muestra-su-resiliencia-y-avanza-un-30/>
- University of Cambridge. (2021). *Cambridge Bitcoin Electricity Index*.
- Vivint.Solar. (n.d.). *Vivint.Solar*. Retrieved from Historia de los paneles solares: <https://www.vivintsolar.com/es/centro-de-aprendizaje/historia-de-la-energia-solar>
- Volvo. (2019, Noviembre). Retrieved from Volvo Cars aplicará la tecnología blockchain (cadena de bloques) para implantar un sistema de trazabilidad de cobalto utilizando en las baterías de sus vehículos eléctricos: <https://www.volvocars.com/es/por-que-volvo/valores/noticias-eventos/noticias-motor/024-volvo-cobalto-trazabilidad>
- Wizink Center. (n.d.). *Wizink Center*. Retrieved from <https://www.wizinkcenter.es/recinto>

