



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

Explorando la aplicación de blockchain para la
provisión de servicios de balance mediante VEs

Autor: Francisco José Araque Pineda

Director: José Pablo Chaves Ávila

Co-Director: Daniel Díez García

Co-Director: Ignacio Enrique López del Moral

Madrid

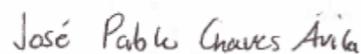
Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título Explorando la aplicación de blockchain para la provisión de servicios de balance mediante VEs en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2019/2020 es de mi autoría, original e inédito 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.: Francisco José Araque Pineda

Fecha: 10/07/2020

Autorizada la entrega del proyecto
EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: José Pablo Chaves Ávila

Fecha: 10/07/2020



Fdo.: Daniel Díez García

Fecha: 10/07/2020



Fdo.: Ignacio Enrique López del Moral

Fecha: 10/07/2020

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

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

El autor D. Francisco José Araque Pineda DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: Explorando la aplicación de blockchain para la provisión de servicios de balance mediante VEs que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

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

3º. Condiciones de la cesión y acceso

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

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

4º. Derechos del autor.

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

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

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

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

de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

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

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

Madrid, a 10 de Julio de 2020

ACEPTA



Fdo. Francisco José Araque Pineda

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



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

Explorando la aplicación de blockchain para la
provisión de servicios de balance mediante VEs

Autor: Francisco José Araque Pineda

Director: José Pablo Chaves Ávila

Co-Director: Daniel Díez García

Co-Director: Ignacio Enrique López del Moral

Madrid

Agradecimientos

Me gustaría dar las gracias a mis tutores, José Pablo, Dani y Nacho, por el seguimiento y la ayuda en este trabajo durante más de un año.

Agradecer a mis padres y hermana el apoyo incondicional desde el comienzo del grado hasta el día de hoy.

Índice

1	<i>Introducción</i>	17
2	<i>Contexto energético</i>	18
2.1	Crecimiento de la demanda. Mix energético.	18
2.2	Sistema Eléctrico Español. Evolución hacia Smart Grids. Micro Grids.	22
3	<i>Recursos energéticos distribuidos</i>	26
3.1	Contexto. Marco Europeo en política climática	26
3.2	Transición energética: descarbonización, digitalización y descentralización	27
3.3	Flexibilidad y descentralización.....	27
3.4	Agregación de recursos energéticos distribuidos	28
3.5	Productos específicos para servicios de red.....	29
4	<i>Tecnología Blockchain</i>	32
4.1	Introducción a la tecnología Blockchain	32
4.2	Definición	32
4.3	Conceptos básicos.....	33
4.4	Tipos de Blockchain	35
5	<i>Estado del arte. Vehicle-to-Grid como servicio de balance</i>	38
5.1	El futuro de la energía y la movilidad. Vehicle-to-Everything (V2X).....	38
5.2	Marco legal relativo a los servicios de balance en el sistema eléctrico peninsular español ³⁹	
5.3	Tecnología Vehicle-to-Grid	40
5.4	Iniciativas privadas Vehicle-to-Grid	42
5.5	Esquema de coordinación.....	46
5.6	Estudio de los agentes involucrados en diferentes escenarios.....	47
5.6.1	Escenario I. Carga y descarga en domicilios particulares.....	47
5.6.2	Escenario II. Carga y descarga en un edificio. Vehicle-to-Building.....	52
6	<i>Blockchain para la gestión de V2G como servicio de red</i>	55
7	<i>Modelo de negocio</i>	60
7.1	Socios clave	63
7.2	Actividades clave	64
7.3	Recursos clave	65
7.4	Propuesta de valor	65

7.5	Segmentos de clientes, relación y canales.....	66
8	<i>Análisis de costes y financiación.....</i>	68
8.1	Estructura de costes	68
8.2	Fuente de ingresos	69
9	<i>Conclusiones y líneas futuras</i>	72
9.1	Conclusiones	72
9.2	Líneas futuras	73
10	<i>Bibliografía</i>	75

EXPLORANDO LA APLICACIÓN DE BLOCKCHAIN PARA LA PROVISIÓN DE SERVICIOS DE BALANCE MEDIANTE VES

Autor: Araque Pineda, Francisco José.

Director: Chaves Ávila, José Pablo.

Co-Director: Díez García, Daniel.

Co-Director: López del Moral, Ignacio Enrique.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia de Comillas.

RESUMEN DEL PROYECTO

El siguiente trabajo introduce el caso de uso de la tecnología blockchain aplicada a la gestión de vehículos eléctricos que, de forma agregada, proporcionan un producto de balance a la red eléctrica. El estudio resulta de especial interés pues ofrece una solución innovadora y eficaz en un contexto marcado por el crecimiento de la demanda eléctrica mundial y la emergencia climática.

El documento comienza con la descripción del contexto energético actual. Se hace referencia al concepto de mix energético y se muestra cómo las energías renovables tienden a sustituir a los combustibles fósiles. Esta tendencia deriva en una evolución del sistema eléctrico, que se aleja del tradicional esquema vertical. Surgen las Smart Grids, redes que incorporan tecnologías de la información para optimizar procesos y operaciones, lo que resulta en sistemas eléctricos más eficientes que se adaptan fácilmente a la generación renovable.

La siguiente etapa del trabajo consiste en definir las dos tecnologías principales que intervienen: recursos de energía distribuidos y blockchain. Se comienza comentando el marco europeo en políticas climáticas en el que aparecen los recursos de energía distribuidos. Estos recursos tienen la posibilidad de aportar flexibilidad a la red eléctrica. Para ello nace un nuevo agente en el sistema eléctrico, el agregador, que reúne la potencia necesaria para participar en servicios de red. Esta acción está regulada a través de una serie de productos específicos para servicios de red. Por otro lado, la tecnología blockchain propone una estructura de datos ideal para la gestión de transacciones. Las principales características de la misma son transparencia, inmutabilidad y automatización. Del mismo modo se discuten los diferentes tipos de blockchain, mecanismos de consenso y algunos conceptos técnicos importantes.

A continuación, se introduce la tecnología Vehicle-to-Grid, la cual permite al vehículo eléctrico verter energía a la red y viceversa, convirtiéndolo así en parte activa del sistema eléctrico. Se expone el estado del arte de la técnica, así como el marco legal relativo a los servicios de balance en el sistema eléctrico peninsular español. Adicionalmente se define el concepto de esquema de coordinación y se realiza un estudio de las relaciones entre los agentes involucrados en el caso en el que un conjunto de vehículos eléctricos proporcionen un producto de red. Se distinguen dos escenarios diferentes: el lugar de carga es el domicilio particular; el lugar de carga es un edificio público. Estas relaciones se muestran a través de esquemas que recogen el flujo de información, energía y dinero entre los agentes.

Posteriormente, se procede a determinar en qué transacciones y etapas del proceso tiene sentido la aplicación de la tecnología blockchain. Se particulariza para el escenario segundo,

en el que la carga se realiza en un edificio público. La metodología empleada consiste en un examen detallado de cada una de las transacciones para seguidamente justificar el empleo o no de esta tecnología, teniendo en cuenta las ventajas que aporta.

La siguiente etapa consiste en la presentación de la oportunidad de negocio existente en torno al desarrollo a una plataforma que utilice blockchain para gestionar vehículos eléctricos que, de forma conjunta el servicio de balance al sistema. Se argumenta la elección de la Ciudad Grupo Santander y Ciudad BBVA, como lugares de carga óptimos en los que desarrollar el proyecto. Se emplea la plantilla de gestión estratégica Business Model Canvas, con el fin de definir socios, recursos y actividades clave, profundizar la propuesta de valor y analizar el segmento de clientes, así como canales de comunicación y relación con los mismos. En el siguiente apartado se realiza un estudio orientativo de los ingresos y costes del proyecto, calculando también la rentabilidad del mismo.

Por último, teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se presentan las conclusiones del trabajo. Como principal resultado se obtiene que la aplicación de blockchain sirve para tener un registro de la energía intercambiada y los pagos a los usuarios para cada producto de balance. Asimismo, se describen varias líneas futuras de investigación relacionadas con el proyecto, tales como un modelo económico más detallado o el impacto de un proyecto de este tipo en la red de distribución.

EXPLORING BLOCKCHAIN APPLICATION TO EVs PROVISION OF BALANCING SERVICES

Author: Araque Pineda, Francisco José.

Supervisor: Chaves Ávila, José Pablo.

Co-Supervisor: Díez García, Daniel.

Co-Supervisor: López del Moral, Ignacio Enrique.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia de Comillas.

ABSTRACT

This thesis introduces the use case of blockchain technology applied to the management of electric vehicles that, in aggregate, provide balancing services to the system. The study is of special interest as it offers an innovative and effective solution in a context marked by the growth of world electricity demand and the climate emergency.

The document begins with the description of the current energy context. The first section described the energy mix and it is shown how renewable energies tend to replace fossil fuels. This trend leads to an evolution of the system, which departs from the traditional vertical scheme. Smart Grids emerge, grids that incorporate information technologies to optimize processes and operations, resulting in more efficient electricity systems that are easily adapted to renewable generation.

The next stage of the work consists in defining the two main technologies involved: distributed energy resources and blockchain. At first, the European framework on climate policies in which distributed energy resources appear is discussed. These resources have the possibility of providing flexibility to the grid. For this, a new agent will play a role in the electricity system, the aggregator, which gathers the necessary resources to participate in grid services. This action is regulated through a series of specific products for grid services. On the other hand, blockchain technology proposes an ideal data structure for transaction management. The main characteristics of it are transparency, immutability and automation. Similarly, the different types of blockchain, consensus mechanisms and some important technical concepts are discussed.

Next, Vehicle-to-Grid technology is introduced, which allows the electric vehicle to pour energy into the grid and vice versa, thus making it an active part of the electricity system. The state of the art of the technique is exposed, as well as the legal framework related to balance services in the Spanish peninsular electricity system. Additionally, the concept of the coordination scheme is defined and a study of the relationships between the agents involved is carried out in the case in which a group of electric vehicles provides a grid product. Two different scenarios are distinguished: the charging place is the home and the charging place is a public building. These relationships are shown through schemes that collect the flow of information, energy and money between agents.

Subsequently, it is determined in which transactions, stages of the process the application of blockchain technology makes sense. It is particularized for the second scenario, in which the

charging is carried out in a public building. The methodology used consists of a detailed examination of each of the transactions and the justification of the use or not of this technology, taking into account the advantages it provides.

The next stage consists of presenting the existing business opportunity around the development of a platform that uses blockchain to manage electric vehicles that in aggregate facilitate the provision of balancing services. The choice of Ciudad Grupo Santander and Ciudad BBVA is argued as the optimal charging places in which to carry out the project. The strategic management template Business Model Canvas is used in order to define partners, resources and key activities, deepen the value proposition and analyze the customer segment, as well as communication channels and relationships with them. In the following section, a brief study of the project's income and costs is carried out, also calculating its profitability.

Finally, taking into account the results obtained, the conclusions of the paper are presented. The main result is that the blockchain application allows to have a record of the energy exchanged and the payments for each balancing product. Furthermore several future lines of research related to the project are described, such as a more detailed economic model or the impact of a project of this kind in the distribution grid.

Índice de tablas, ilustraciones y gráficos

Gráfico 1. Consumo mundial en 2018 según fuente de energía. Fuente: [1]	19
Gráfico 2. Consumo por regiones y fuente de energía en 2018. Fuente: [1].....	19
Ilustración 1. Esquema del sistema eléctrico tradicional. Fuente: [3]	22
Ilustración 2. Las partes de la Smart Grid en el sistema eléctrico. Fuente: [6]	24
Ilustración 3. Esquema de una microrred eléctrica.....	25
Ilustración 4. Mapa de las zonas de distribución. Fuente: [15]	41
Ilustración 5. Infraestructura V2G proporcionada por Nuvve.....	43
Ilustración 6. Infraestructura V2G proporcionada por OVO Energy. Fuente: [17]	46
Ilustración 7. Representación de un esquema de coordinación central. Elaboración propia.....	47
Ilustración 8. Escenario I. Carga y descarga en domicilios particulares. Elaboración propia.....	48
Ilustración 9. Escenario II. Carga y descarga en un edificio público. Elaboración propia.....	53
Ilustración 10. Business Model Canvas del proyecto.....	62
Tabla 1. Lista de siglas.	16
Tabla 2. Tipos de Blockchain.....	37
Tabla 3. Características del proyecto Parker de la firma Nuvve.	43
Tabla 4. Características del proyecto Leo de la firma Nuvve.	44
Tabla 5. Características del proyecto Network Impact de la firma Nuvve.....	44
Tabla 6. Funciones de los agentes involucrados.....	51
Tabla 7. Contratos previos al producto entre los diferentes agentes para el Escenario I.	52
Tabla 8. Funciones adicionales de los agentes involucrados para el Escenario II.	53
Tabla 9. Contratos adicionales previos al producto entre los diferentes agentes para el Escenario II.....	54
Tabla 10. Clasificación y análisis de las transacciones involucradas.....	56
Tabla 11. Justificación del empleo de blockchain en cada transacción.....	59
Tabla 12. Principales parámetros empleados en la estimación de ingresos.	71
Tabla 13. Cálculo de los ingresos de la plataforma durante los cuatro primeros años... 71	

SIGLAS	TÉRMINO
AI	Artificial Intelligence, Inteligencia Artificial
BOE	Boletín Oficial del Estado
BRP	Balance Responsible Party, Sujeto Responsable de Balance
BSP	Balance Service Provider, Proveedor de Servicio de Balance
CECOVEL	Centro de Control del Vehículo Eléctrico
CECRE	Centro de Control de Energías Renovables de Red Eléctrica
CNMC	Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia
CPD	Centro de Procesamiento de Datos
DER	Distributed Energy Resources, Recursos de Energía Distribuidos
DMS	Distribution Management System, Sistemas de Gestión de Distribución
DSO	Distribution System Operator, Gestor de la Red de Distribución
IoT	Internet of Things, Internet de las Cosas
MDM	Meter Data Management, Gestión de Datos de Medidores
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
OMIE	Operador del Mercado Ibérico de Energía
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
P2P	Peer-to-Peer, de Par a Par
PoS	Proof of Stake, Prueba de Participación
PoW	Proof of Work, Prueba de Trabajo
REE	Red Eléctrica de España
SG	Smart Generation, Generación Inteligente
SM	Smart Metering, Medición Inteligente
SN	Smart Network, Medición Inteligente
SO	Smart Operation, Operación Inteligente
TIC	Tecnologías de la Información y la Comunicación
TSO	Transport System Operator, Gestor de la Red de Transporte
V2D	Vehicle-to-Device, de Vehículo a Dispositivo
V2G	Vehicle-to-Grid, de Vehículo a Red eléctrica
V2I	Vehicle-to-Infrastructure, de Vehículo a Infraestructura
V2N	Vehicle-to-Network, de Vehículo a Red de comunicación
V2P	Vehicle-to-Pedestrian, de Vehículo a Peatón
V2V	Vehicle-to-Vehicle, de Vehículo a Vehículo
V2X	Vehicle-to-X, de Vehículo a “cualquier cosa”

Tabla 1. Lista de siglas.

1 Introducción

La evolución tecnológica y científica que vive el mundo a día de hoy, así como las economías de transición presentes en los países en vías de desarrollo, requieren una demanda de energía que crece cada año. Al mismo tiempo, la sociedad concentra sus esfuerzos en combatir el cambio climático con políticas exigentes. Es por ello que los combustibles fósiles de los que ha dependido la industria durante tantos años, poco a poco se quedan al margen para dar paso a las fuentes de energía renovables. Éstas a su vez, son en parte responsables de la transformación en la que se encuentran inmersos los sistemas eléctricos. Esta transformación tiene como pilares bases la digitalización y los recursos energéticos distribuidos. Las tecnologías de la información se convierten en una herramienta clave para operar de forma eficiente y descentralizada la red eléctrica. Surgen así las *Smart Grids*, redes conectadas que empoderan al consumidor y aseguran un sistema energético sostenible y con altos niveles de calidad.

En este contexto y alejándose del modelo tradicional, aparecen nuevos mecanismos de flexibilidad que se sitúan del lado de la demanda. Los recursos energéticos distribuidos constituyen el conjunto de elementos que, conectados a las redes de media y baja tensión, aportan flexibilidad al sistema. El alcance limitado de los mismos hace que nazca la figura del agregador, que actúa como nexo de unión entre el operador del sistema y los consumidores. La flexibilidad comentada está regularizada a nivel europeo según una lista de productos específicos para servicios de red.

El sector automovilístico vive una revolución guiada por la conectividad y la aparición del coche autónomo. Los vehículos, además de continuar siendo un medio de transporte, se convierten en parte activa de la sociedad. El vehículo eléctrico se postula como candidato a convertirse un nuevo agente del sistema eléctrico. La tecnología *Vehicle-to-Grid* permite el flujo bidireccional de energía entre vehículo eléctrico y red, posibilitando así la participación del mismo en productos de balance.

El modelo de negocio que surge en torno a esta iniciativa, conlleva múltiples transacciones. Estas transacciones surgen tanto de los contadores inteligentes que contabilizan la energía intercambiada con la red, como por los pagos a usuarios correspondientes a cada producto de balance o posibles desvíos. Por ello, el coordinador de la actividad, el agregador, tiene la necesidad de obtener la herramienta de gestión más adecuada para este caso.

Este trabajo propone la tecnología *blockchain* para coordinar la actividad descrita, consistente en una estructura de datos en la que la información se guarda en cadenas de bloques. Transparencia, descentralización, inmutabilidad y automatización son las características que esta tecnología aporta.

2 Contexto energético

2.1 CRECIMIENTO DE LA DEMANDA. MIX ENERGÉTICO.

Es una realidad que la demanda energética tiende a continuar creciendo cada año. En 2018, según [1] el consumo de energía mundial aumentó un 2,9%, alcanzando el equivalente a 13800 millones de toneladas de crudo (Mtoe). Algunos de los datos más relevantes son:

- Los principales consumidores son China, Estados Unidos e India. Juntos suman dos tercios del aumento de la demanda mundial de energía.
- Si nos centramos en los países pertenecientes al G20, la demanda de energía ha aumentado un 2,1% y las emisiones de CO₂ un 1,7%. Se trata de una variación pequeña respecto a los datos de 2017 (+2,1%).
- En los países de la OCDE, que representan un 43% de las emisiones del G20, la demanda de energía ha crecido apenas un 1% y las emisiones de CO₂ un 0,4%. Denotar el aumento considerable de consumo por parte de Estados Unidos (+3,5%), así como la disminución en el caso de la Unión Europea, especialmente en Alemania (-4%), y Japón.
- En los países de fuera de la OCDE, que representan un 57% de las emisiones del G20, la demanda de energía ha crecido un 3%, valor similar al de años anteriores, y las emisiones de CO₂ un 2,5%. Crecimiento dinámico del consumo en Rusia, India y China.
- Se observa pues, que la demanda de energía tiende a crecer cada año, con un ritmo superior en los países en vías de desarrollo. El crecimiento del PIB ha sido de un 3,8% en el G20, 2,4% en los países de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) y 5,4% en los países de fuera de la OCDE. El crecimiento económico es por tanto indicador y principal causa del crecimiento del consumo de energía.
- La principal causa que hace que haya zonas en las que el crecimiento de la demanda de energía sea más acusado que en otras es el cambio climático, que ha hecho que la temperatura media en ciertas estaciones varíe bruscamente y la población haga un mayor uso de refrigeración y calefacción.

Habiendo visto que la demanda energética mundial se ha estabilizado en un leve crecimiento anual, mayor en los países fuera de la OCDE y sensible al cambio climático, toca analizar la actualidad del mix energético mundial.

El mix energético es el término que alude a las diferentes fuentes de energía que cubren la demanda de un país. En el Gráfico 1 se muestra la evolución del mix energético mundial desde el año 1993. En el Gráfico 2 puede verse el consumo por regiones y fuentes de energía. Las fuentes de energía que aparecen son: carbón (*Coal*), renovables (*Renewables*), hidroeléctrica (*Hydroelectricity*), nuclear (*Nuclear energy*), gas natural (*Natural gas*) y petróleo (*Oil*).

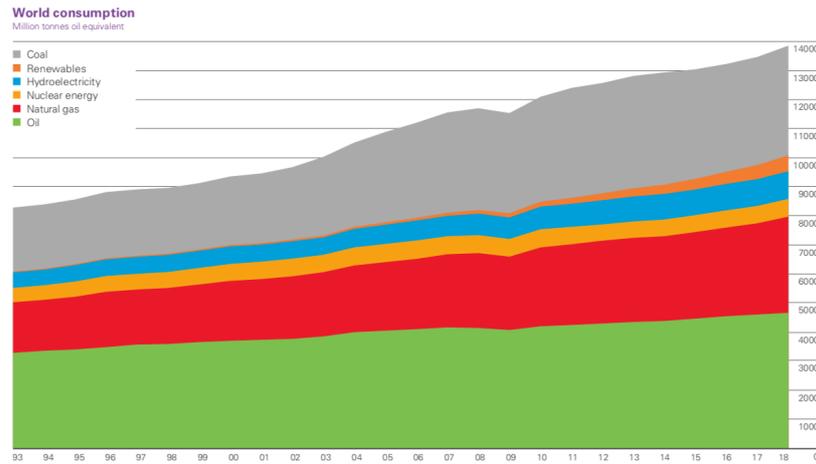


Gráfico 1. Consumo mundial en 2018 según fuente de energía. Fuente: [1]

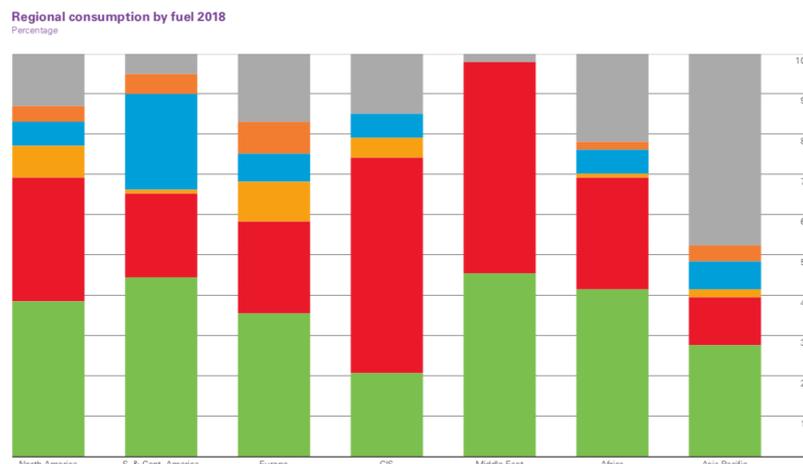


Gráfico 2. Consumo por regiones y fuente de energía en 2018. Fuente: [1]

Las conclusiones más significativas que describen el mix energético mundial en 2018 son [2]:

- El consumo de carbón no decrece (+0,4%). [3]
 - El aumento proviene de los países de fuera de la OCDE (+1,8%) y disminuye en la OCDE (-2,5%).

-
- Impulsado por India y por China (Rusia e Indonesia en menor medida).
 - China supone el 55% del consumo del G20. El leve crecimiento se limita a la conversión carbón a gas.
 - La caída de la demanda en Estados Unidos (-3,4%) alcanzó su nivel más bajo en 40 años debido a la disponibilidad de gas natural más barato para la generación de electricidad.
 - Gran descenso en la UE (-5%) con una caída del 6,5% en Alemania y una caída del 17% en Reino Unido.

 - Todavía no se ha alcanzado el pico en el consumo de petróleo.
 - Crecimiento del petróleo (+1%) respaldado por países no miembros de la OCDE (+2,7%) y Estados Unidos.
 - Crecimiento en China a causa del aumento constante de la flota de vehículos.
 - Caída en Japón apoyada por la disminución de generación de energía a partir de petróleo a causa de la vuelta a operación de varios reactores nucleares.
 - Disminución del consumo en la UE (especialmente en Alemania) debido a los altos precios.

 - Aceleración en la demanda de gas natural (+4,8%).
 - Mayor crecimiento en décadas. Lo hace tanto dentro como fuera de la OCDE, la cual representa más del 60% del consumo.
 - Fuerte crecimiento en China (+18%) alentado por las políticas de cambio de carbón a gas.
 - Fuerte aumento en Estados Unidos relacionado con el suministro doméstico.
 - Disminuye en la UE y Japón.
 - Aumento del flujo de gas natural licuado.
 - China (25%) y Estados Unidos (48%) representan más del 70% del crecimiento de la demanda de gas natural del G20.

 - Fuerte crecimiento en la generación eólica pese a la desaceleración en capacidad adicional, con excepción de China.
 - En china crece un 20% y cuentan con una capacidad adicional instalada de 20 GW.
 - Crecimiento moderado en la UE (+5%) y se frena la instalación de capacidad adicional.
 - En Estados Unidos aumenta un 8%.

 - Aumento de la generación de energía solar en China pero la capacidad adicional se frena.

-
- China añade 44 GW, algo menos que en el año anterior debido a nuevas políticas de eficiencia.
 - Aceleración en India, crecimiento moderado en la UE y desaceleración en Estados Unidos y Japón.
 - La electricidad primaria supone alrededor del 20% de la energía final consumida.
 - La electricidad constituye únicamente el 1% de la energía total consumida en el sector del transporte en el G20. Sin embargo, es en este sector donde existe una mayor tasa de crecimiento de la electrificación a causa de la aparición del VE (Vehículo Eléctrico).
 - La tasa de consumo de electricidad primaria es mayor en China que en el resto de países precisamente por contar con un sector del transporte más electrificado.

En resumen, los dos puntos más significativos que describen el mix energético mundial a fecha de 2018 son, primero el crecimiento rápido de gas natural y electricidad primaria, y segundo, que ni el carbón ni el petróleo han alcanzado el pico todavía. El crecimiento de la electricidad primaria es uno de los causantes de la transformación digital que vive el sector eléctrico, que se comenta en el siguiente apartado.

2.2 SISTEMA ELÉCTRICO ESPAÑOL. EVOLUCIÓN HACIA SMART GRIDS. MICRO GRIDS.

En la Ilustración 1 [4] se muestra un esquema representativo del Sistema Eléctrico Español tradicional. Su característica principal es la gestión vertical del mismo: se produce electricidad en grandes centrales de generación, normalmente alejadas de los núcleos urbanos, y posteriormente se transporta de la manera más eficiente posible hasta los centros de consumo.

- La red de transporte lleva la energía desde las centrales eléctricas hasta las subestaciones de distribución. Es operada por el Gestor de la Red de Transporte (del inglés, *Transmission System Operator*, TSO).
- La red de distribución, de ámbito regional, lleva la energía de las subestaciones de distribución hasta los centros de consumo. Es operada por el Gestor de la Red de Distribución (del inglés, *Distribution System Operator*, DSO).
- La electricidad se opera en distintos niveles de tensión: alta, baja y media tensión. Las estaciones elevadoras, conectan las centrales de generación con la red de transporte, y elevan el nivel de tensión para transportar la energía de la forma más eficiente posible. Por otro lado, los centros de transformación reciben energía en media tensión, y la entregan en baja tensión a los usuarios finales.

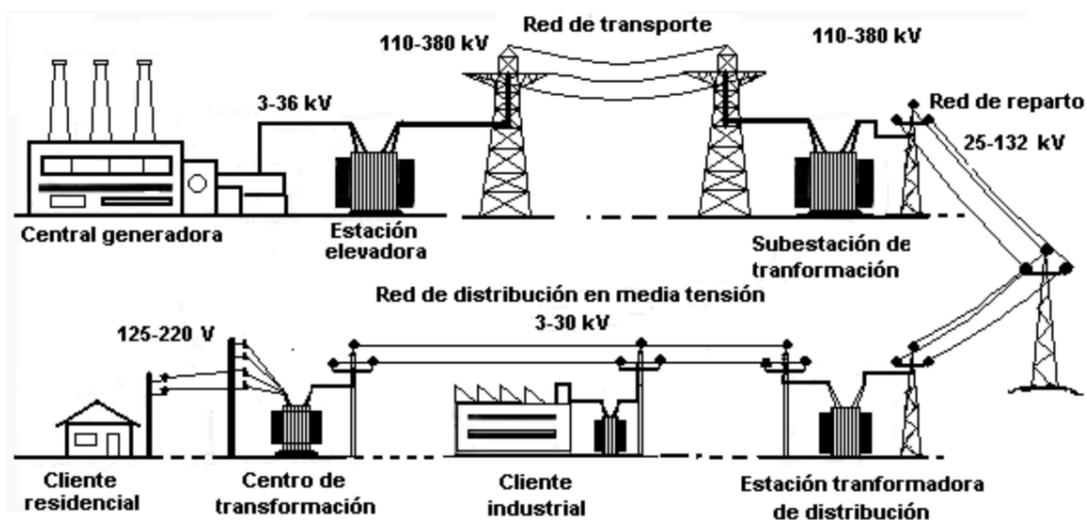


Ilustración 1. Esquema del sistema eléctrico tradicional. Fuente: [3]

Sin embargo, la industria eléctrica está sufriendo una evolución de la red centralizada descrita, a una red más derivada en la que el consumidor tiene una mayor interacción. El motor de este cambio es la denominada transformación digital, que, en el sector eléctrico, se apoya en cuatro pilares [5]:

1. Desarrollo de capacidades de aprovechamiento de la energía renovable disponible. Las políticas climáticas y la descarbonización, generan la necesidad de disminuir bruscamente el uso de combustibles fósiles y potencian la implantación de fuentes de energía renovables. En España, existe un centro especializado en la gestión de fuentes renovables de energía, el CECRE (Centro de Control de Energías Renovables de Red Eléctrica), uno de los centros más avanzados del mundo en esta actividad. Adicionalmente, se prevé una electrificación masiva del sector del transporte, que requerirá adaptaciones por parte de la red de distribución. Para este análisis nace el CECOVEL (Centro de Control del Vehículo Eléctrico).
2. El progresivo papel del protagonista del consumidor. Los consumidores están cambiando su papel en el sistema eléctrico, el cual pasa de ser un consumidor pasivo a un consumidor más activo que toma decisiones propias sobre la gestión del consumo. Estas decisiones tienen que ver con el proveedor energético, el tipo de contratación de servicio y al modo en que se consume la energía.
3. Optimización de la gestión de los activos. Los contadores inteligentes, corazón de las Redes Inteligentes (del inglés, *Smart Grids*), permiten obtener información detallada del uso de las redes de distribución. A ello se le suma una sensorización generalizada de los activos de la red y una capacidad de análisis a gran escala de información gracias a las tecnologías de *Big Data*, Internet de las Cosas (del inglés, *Internet of Things*, IoT) e Inteligencia Artificial (del inglés, *Artificial Intelligence*, AI).
4. La optimización de los procesos operativos. Se trata de un proceso de robotización y automatización que no solo vive el sector eléctrico, sino la industria en general. Algunos cambios ya implementados en el caso español incluyen el procesamiento avanzado de información multimedia para evaluar el estado de los activos y el uso de sistemas informáticos móviles de apoyo. Otros se encuentran en fase de implantación avanzada, como el uso de robots digitales y drones para optimizar funciones repetitivas hasta ahora desarrolladas por personas. Por último, también existen tecnologías en fases más incipientes como el empleo de sistemas cognitivos con capacidad de razonamiento autónomo para operar sistemas.

Como se ha mencionado, en esta transformación digital y descentralización del sector eléctrico, surgen las Smart Grids, que juegan un papel determinante. Las Smart Grids emplean tecnologías de información y comunicación (TIC) con el fin de permitir el empoderamiento del consumidor, el flujo bidireccional de información y energía, y la aparición de los recursos de energía distribuidos (del inglés, *Distributed Energy Resources*, DER), ya sea en alta, media o baja tensión.

En la Ilustración 2 se muestra un esquema de una Smart Grid, así como los pilares en los que se fundamenta [6] y en qué parte del sistema eléctrico se aplican.

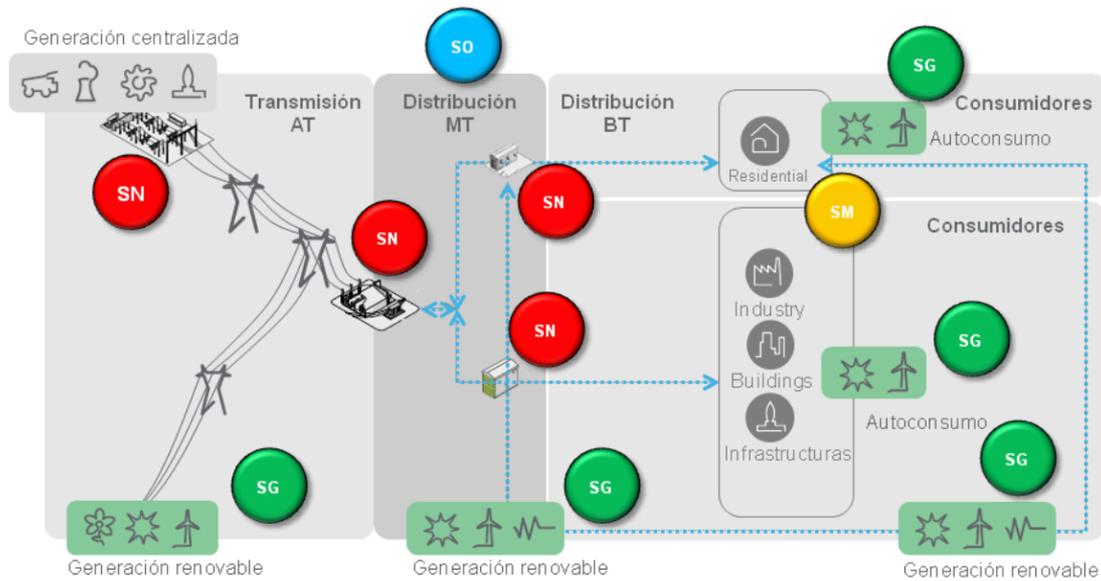


Ilustración 2. Las partes de la Smart Grid en el sistema eléctrico. Fuente: [6]

- Red Inteligente (del inglés, *Smart Network*, SN). Primer pilar que comenzó a implementarse, consistente en la automatización de la red eléctrica, uniendo control y protección. Para ello se han mejorado protocolos de comunicación y establecido estándares interoperables.
- Operación Inteligente (del inglés, *Smart Operation*, SO). Surgen sistemas como los Sistemas de Gestión de Distribución (del inglés, *Distribution Management System*, DMS). A partir de los DMS se pueden llevar a cabo configuraciones de la red que reducen la energía inyectada, establecen una planificación óptima de futuras inversiones y potencian la detección de defectos a partir de la lógica neuronal.
- Medición Inteligente (del inglés, *Smart Metering*, SM). Los Contadores Inteligentes (del inglés, *Smart Meters*) dotan al gestor de la red de información a tiempo real de los puntos de consumo, permitiendo ofrecer una respuesta correcta a la demanda. También ayudan realizar operaciones de mantenimiento y reducir los costes de las mismas. Las plataformas dedicadas a la gestión y facturación de contadores inteligentes se denominan Gestión de Datos de Medidores (del inglés, *Meter Data Management*, MDM).
- *Smart Generation* (SG). Se refiere a la implantación de recursos energéticos distribuidos y vehículo eléctrico.

Todas estas soluciones están diseñadas para ser implementadas a escala más reducida, no mirando al sistema eléctrico en su totalidad. De esta manera, ya sea en un polígono

industrial, distrito comercial, urbanización o cualquier infraestructura en la que puedan establecerse consumos y generación, las Smart Grids hacen una red más eficiente.

Acompañando al término de Smart Grid, surge el concepto de Microred (del inglés, *Micro Grid*). Una microred eléctrica [7] se define un sistema formado por fuentes de generación, equipos de almacenamiento y cargas conectadas, que puede funcionar tanto conectado al sistema principal, como aislado del mismo en caso de perturbaciones eléctricas.

En la Ilustración 3 se muestra un ejemplo de una microred eléctrica.

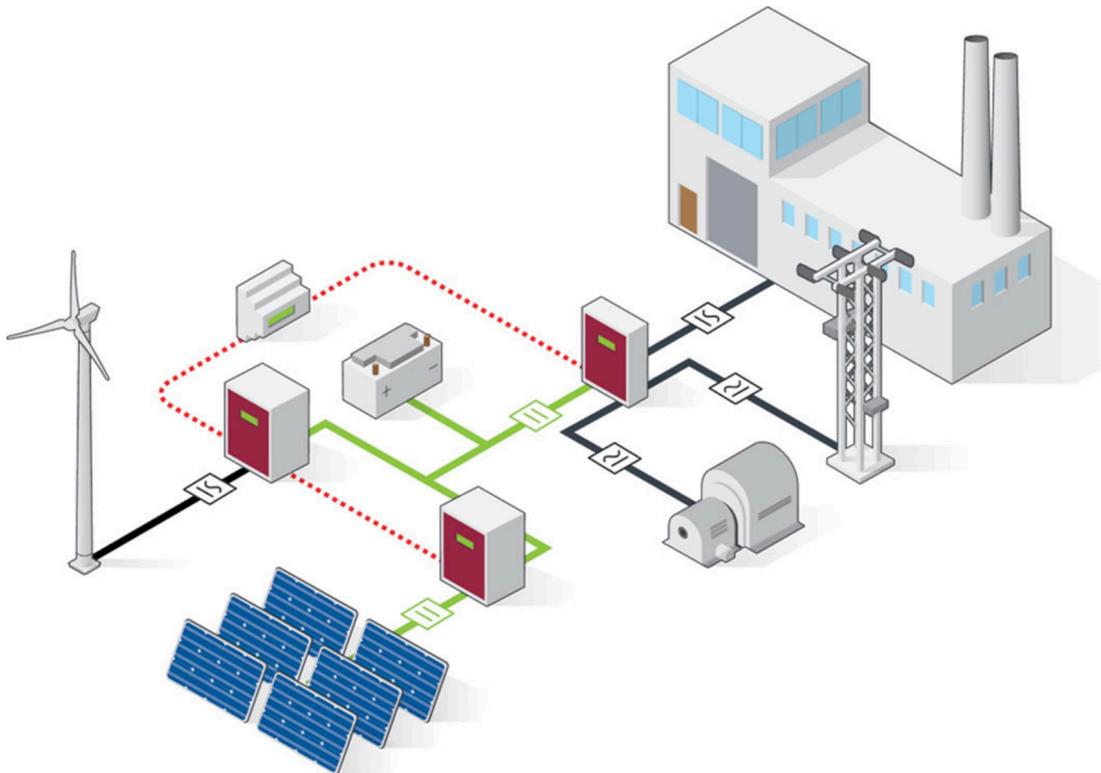


Ilustración 3. Esquema de una microred eléctrica.

3 Recursos energéticos distribuidos

3.1 CONTEXTO. MARCO EUROPEO EN POLÍTICA CLIMÁTICA

Desde el 2015 los esfuerzos globales para luchar contra el cambio climático se enmarcan en el acuerdo de París, cuyo objetivo es limitar el aumento de la superficie de la superficie del planeta por debajo de los 2 °C (1,5 °C como objetivo deseable).

Por su parte, el Consejo Europeo aprobó el 24 de octubre de 2014 cuatro objetivos que definen el marco de actuación de la Unión Europea en materia de clima y energía hasta 2030.

- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero un 40%, en comparación con los niveles de 1990.
- Un consumo de energía renovable de un 32% como mínimo.
- Un aumento del 32.5% en eficiencia energética.
- La realización del mercado interior de la energía, alcanzando el objetivo existente de interconexión eléctrica del 10% y conectando las islas energéticas, en particular los Estados del Báltico y la Península Ibérica.

Además, se aprobaron medidas adicionales relacionadas con la seguridad eléctrica, con el fin de reducir la dependencia energética de la UE y aumentar la seguridad del suministro de electricidad y gas.

A continuación, se mencionan algunas líneas de actuación recientes de la UE destinadas a garantizar el cumplimiento de los mencionados objetivos.

- En cuanto a economía circular, se prohíben los plásticos de un solo uso y se adoptan nuevas normas para la gestión de residuos.
- Normas más estrictas para las emisiones de CO₂ provenientes del transporte.
- Paquete de medidas sobre energía limpia para alcanzar en 2030 un 32% de la energía a partir de fuentes renovables y una eficiencia energética del 32,5%.
- Reformas del régimen de comercio de derechos de emisión de la UE.
- Mejorar la protección y la gestión de la tierra y los bosques de la UE.

Por otro lado, más a largo plazo, en diciembre de 2019, los dirigentes de la UE refrenaron el objetivo de alcanzar una UE climáticamente neutra de aquí a 2050.

3.2 TRANSICIÓN ENERGÉTICA: DESCARBONIZACIÓN, DIGITALIZACIÓN Y DESCENTRALIZACIÓN

La transición energética constituye el proceso por el cual se pretende descarbonizar las actividades económicas. La propuesta es alcanzar este objetivo mediante energías renovables, eficiencia energética y una participación activa de los consumidores. Esta última se hace posible, en parte, gracias a tecnologías de la información que están detrás de una recolección masiva y constante de datos, así como de su posterior análisis y extracción de conclusiones. Esto ayuda a crear un entorno en el que surgen modelos de negocio cuya base es la innovación, los cuales permiten reducir los costes de la transición energética y generar nuevas fuentes de ingresos.

En definitiva, los tres conceptos clave que hacen de la transición energética el foco de atención para responsables políticos, reguladores y mercados son los siguientes:

- Luchar contra el cambio climático controlando las emisiones de CO₂. Esta ruta de trabajo es sostenible en términos financieros ya que el coste de la generación de energías renovables disminuye cada vez más, aumentando la competencia de la generación a partir de combustibles fósiles.
- La nueva era de transformación digital en la que se sitúa la sociedad. Contadores inteligentes y dispositivos conectados dan la oportunidad a los consumidores de integrar producción y flexibilidad en la demanda del sistema eléctrico.
- Los recursos energéticos distribuidos. Autoconsumo, eficiencia energética, sistemas físicos y virtuales de almacenaje de energía y respuesta a la demanda son los elementos que permiten aportar flexibilidad al sistema mejorando así la rentabilidad del mismo.

3.3 FLEXIBILIDAD Y DESCENTRALIZACIÓN

En todo sistema eléctrico se busca que haya un equilibrio continuo entre generación y demanda con el fin de dar un servicio óptimo en condiciones de seguridad eléctrica. Un desequilibrio podría derivar en la inestabilidad de la red, fluctuaciones severas de tensión, pérdida en la calidad de onda o fallos en los centros de generación. La flexibilidad es el concepto que recoge los mecanismos que permiten a los operadores del sistema, tanto TSO (por sus siglas en inglés a nivel central como DSO (gestores de la red de distribución por sus siglas en inglés) a nivel local, garantizar en todo momento el equilibrio mencionado.

Tradicionalmente la flexibilidad se sitúa del lado de la oferta: centros de generación gestionables tales como las centrales hidroeléctricas de bombeo pueden adaptarse a tiempo real a las fluctuaciones existentes. Sin embargo, los recursos energéticos distribuidos introducen nuevas técnicas que permiten a la demanda participar y aportar flexibilidad al sistema eléctrico.

Ya antes mencionados, los recursos energéticos distribuidos constituyen el conjunto de tecnologías que, conectadas generalmente a las redes de media y baja tensión, otorgan flexibilidad al sistema eléctrico. Estas tecnologías incluyen generación distribuida, sistemas de almacenamiento y gestión de la demanda. La generación distribuida incluye unidades de cogeneración, centrales de biogás y energías renovables no gestionables, principalmente solar y eólica. Baterías, células de combustible y volantes de inercia forman los sistemas de almacenamiento de energía. La gestión de la demanda, por su parte, consiste en incentivos que favorecen la transición del consumo de las horas punta hacia los periodos de valle. Por último, el vehículo eléctrico integra un elemento innovador dentro del sistema eléctrico. Además de ser un sistema de almacenamiento que basa su funcionamiento en baterías, ofrece el potencial de una gestión coordinada de una flota de unidades, dando un servicio de gran versatilidad al operador a la red.

3.4 AGREGACIÓN DE RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUIDOS

La figura del agregador es aquella que sirve como nexo de unión entre el consumidor y los operadores del sistema [8]. El alcance pequeño y medio de los recursos energéticos distribuidos genera dificultades a la hora de garantizar la competencia en igualdad de condiciones con recursos de mayor tamaño. Se hace pues, necesaria, la aparición de un agente que reúna la flexibilidad ofertada por distintas fuentes de tamaño reducido. Esta función es precisamente la del agregador.

La función de agregación considera la adhesión de activos energéticos físicos y/o virtuales en una sola entidad de cara al operador del sistema y el mercado. Así pues, el agregador es el sujeto legal que permite la incorporación de los recursos energéticos distribuidos. También es el responsable a nivel técnico y financiero.

La agregación de recursos energéticos distribuidos tiene numerosas ventajas, tanto para el consumidor como para el sistema y mercado eléctrico. Por ejemplo, se reducen la inversión necesaria, los costes asociados a la actividad y mejoran las ratios financieras debido a las economías de escala. Asimismo, ayudan a mitigar el riesgo técnico, administrativo y económico. Agilizan el despliegue de la tecnología y constituyen una fuente fiable a bajo coste para dar servicios de red al sistema eléctrico. Cabe diferenciar entre dos sistemas para agregar recursos energéticos distribuidos; en primer lugar, una agregación virtual de los recursos esparcidos en una región a través de sistemas de almacenamiento; en segundo lugar, una agregación física que junte recursos de una comunidad energética conectados a la misma red de baja tensión.

De esta forma, se introduce un nuevo rol competitivo dentro del mercado eléctrico. Por tanto, es importante que exista una regularización adecuada con indicadores de precio que garantice que no aparezcan actuaciones monopolísticas.

Si la agregación es virtual, el servicio puede ser desarrollado por dos tipos de agregador:

- Agregador no independiente. Se trata de un agente del mercado eléctrico ya existente, que cuenta con experiencia en el sector. El más destacado es el comercializador, que hoy por hoy se encarga de agregar el consumo de sus clientes ante el mercado eléctrico.
- Agregador independiente. Nuevos participantes que aparecen en el mercado cuya única función se centra en proporcionar servicios de flexibilidad. Entre otros, pueden ser:
 - Proveedores de recursos distribuidos. Empresa especializada en un determinado activo.
 - Tecnologías de la información. Empresas que ofrecen el sistema operativo para la agregación de DER.
 - Empresa de servicios energéticos. Empresa cuyo enfoque es el rendimiento energético de una instalación eléctrica.

3.5 PRODUCTOS ESPECÍFICOS PARA SERVICIOS DE RED

La flexibilidad previamente comentada se hace visible en una lista de productos estandarizados a nivel europeo para cada uno de los diferentes servicios disponibles a la red eléctrica [9]. Se muestran a continuación:

- Balance. Engloba el conjunto de acciones que permiten al TSO mantener la frecuencia eléctrica dentro de unos límites aceptables. Los productos de reserva utilizados para ello incluyen:
 - Reserva para la contención de la frecuencia.
 - Reserva automática para la contención de la frecuencia.
 - Reserva manual para la contención de la frecuencia.
 - Reserva de sustitución.
- Gestión de la congestión. La congestión ocurre cuando la operación de una red se encuentra en una situación límite a causa de factores inherentes a activos físicos como conductores o transformadores. La congestión consiste en la restricción del flujo de potencia por parte límites térmicos, de tensión o de estabilidad. Se definen dos productos:

-
- Gestión reservada de la congestión.
 - Gestión no reservada de la congestión.

 - Control de tensión. El nivel de tensión es una propiedad local que varía a lo largo del sistema eléctrico. Es esencial que se mantenga dentro de unos límites para garantizar la integridad de los diversos activos que forman parte de la red, cada uno con características y límites distintos. Los operadores del sistema realizan el control del voltaje a través de productores conectados a la red. Éstos, para mantener la tensión dentro de límites operacionales, regulan la inyección o absorción de potencia reactiva. Existen tres productos para este servicio:
 - Potencia reactiva de régimen permanente.
 - Potencia reactiva dinámica.
 - Potencia activa.

 - Respuesta inercial. La inercia es un valor que está relacionado con la velocidad en la respuesta por parte de los generadores síncronos ante desequilibrios. Es proporcionada por las partes rotativas de las máquinas.

 - *Black start*. Un servicio de Black Start procura que un sistema pueda siempre ser restaurado de forma efectiva y económica. Black Start se refiere a la capacidad de una unidad de generación conectada a la red de arrancar sin el suministro de una fuente externa. Al estar dividida la red eléctrica en áreas, es necesario que haya proveedores de Black Start en todas las zonas presentes. Esto dota al servicio de Black Start de un carácter local.

 - Funcionamiento en isla. En algunos casos, al detectar eventos que puedan conducir a perturbaciones en una zona del sistema eléctrico, ya sea a nivel de sistema de transporte o distribución, se activa el plan de funcionamiento en isla. El proceso consiste en crear balance y generación en las islas preseleccionadas para después, a través de puntos de aislamiento optimizados, aislar la isla del resto del sistema. Durante la operación de la isla, los servicios requeridos serían los previamente mencionados, balance y control de tensión.

Por otro lado, se hacen necesarios y coherentes atributos comunes para diferentes servicios que permitan el comercio de los mismos en un único mercado. Actualmente, se carece de una terminología común para especificaciones de producto en Europa que cubra servicios de red, ya sean enfocados al transporte o a la distribución. Aún así, se presenta un conjunto de características, adaptadas y extraídas fundamentalmente de la directriz para el balance de electricidad [10], útiles para la definición de productos de red:

- Periodo de preparación. Periodo entre la solicitud por parte del operador del sistema y el comienzo del periodo de rampa.

- Periodo de rampa. Periodo en el cual la entrada o salida de potencia necesaria será tramitada hasta alcanzar la cantidad solicitada por parte del operador del sistema.

-
- Tiempo completo de activación. Tramo de tiempo que va desde la solicitud por parte del operador del sistema hasta que se alcanza la cantidad solicitada por parte del operador del sistema.
 - Cantidad mínima/máxima. Cantidad mínima/máxima de potencia para una oferta.
 - Duración mínima/máxima del periodo de entrega. Extensión mínima/máxima del periodo en el que se produce la entrega del producto.
 - Periodo de desactivación. Periodo en el que se pasa de la entrega/retirada total de potencia a la situación de partida.
 - Granularidad. El menor incremento en volumen de una oferta.
 - Periodo de validación. Periodo de tiempo en el que la oferta de flexibilidad ofertada puede ser activada.
 - Modo de activación. Se distingue modo automático o manual. En el primero, la activación se realiza durante el periodo de activación de forma automática, sin acción humana requerida. En el segundo, interviene el operador del sistema.
 - Precio de disponibilidad. Precio por mantener la flexibilidad disponible (normalmente expresado en €/MW/hora disponible).
 - Precio de activación. Precio por la flexibilidad total entregada (normalmente expresado en €/MWh).
 - Divisibilidad. Posibilidad por parte del operador del sistema de usar solo parte de los productos ofertados por el proveedor del servicio, ya sea en términos de potencia o tiempo de duración.
 - Información de localización incluida. Este atributo determina si es necesaria la inclusión dentro de la oferta de información de localización.
 - Periodo de recuperación. Duración mínima entre el final del periodo de desactivación y la siguiente activación.
 - Agregación permitida. Esta característica indica si es posible una oferta grupal de potencia es viable a través de un agregador que cubra varias unidades.
 - Producto simétrico/asimétrico. Este atributo determina si solo se permiten productos simétricos o también productos asimétricos. Para un producto simétrico, el volumen de regulación ascendente y el volumen de regulación descendente deben ser iguales.

4 Tecnología Blockchain

4.1 INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN

El concepto de Cadena de Bloques o *Blockchain*, surge formalmente en el año 2009 con la aparición de la criptomoneda *Bitcoin* y su creador Satoshi Nakamoto. Tiene sus orígenes en los años 70 y 80, con el auge de la criptografía enfocada a aumentar la privacidad de los usuarios de Internet. La idea detrás de esta tecnología se describió ya en 1991, cuando los científicos Stuart Haber y W. Scott Stornetta introdujeron una solución computacionalmente práctica para los documentos digitales con sello de tiempo para que no pudieran ser modificados o manipulados. En 1992 incorporaron al diseño los árboles de Merkle, mejorando la eficiencia del sistema al permitir que varios documentos se agruparan en el mismo bloque. Sin embargo, la tecnología no se llegó a utilizar y la patente caducó en 2004, cuatro años antes de la publicación del *white paper* de Bitcoin en 2008. Posteriormente, en 2013, un programador llamado Vitalik Buterin, declaró que Bitcoin necesitaba un lenguaje de código para crear aplicaciones descentralizadas. Finalmente Vitalik acaba desarrollando una nueva plataforma de computación distribuida, Ethereum, que presenta una funcionalidad de scripting, denominada Contratos Inteligentes (del inglés, *Smart Contracts*).

A partir de aquí, la tecnología blockchain comienza a captar la atención general y a día de hoy se utiliza en variedad de aplicaciones, no limitadas a las criptomonedas. La utilidad de blockchain aparece en casos de uso de industrias transaccionales, en los que la identificación y la propiedad de los bienes constituyen el eje central de la propuesta de valor. El grupo de sectores

4.2 DEFINICIÓN

Una blockchain o cadena de bloques, consiste en una estructura de datos en la que la información se registra en bloques. Además, copias de la cadena de bloques residen en varias ubicaciones a la vez. La tecnología blockchain surge como un elemento innovador que permite las transacciones entre pares (del inglés, *Peer-to-Peer*, P2P).

Las principales características de una blockchain son las siguientes [11].

- Descentralizada. Se trata de una red descentralizada, pues consiste en una base de datos compartida en la que ningún usuario posee más información que otro y donde no existe una autoridad central que gobierne la red.

- Inmutable. Puesto que una copia del histórico de las transacciones reside en cada nodo, el hecho de que un tercero intente modificar o añadir un bloque se convierte en una tarea de extrema dificultad.
- Segura. El uso del cifrado y criptografía mantienen la seguridad en la red.
- Autosuficiente. No requiere de una entidad central para gestionar transacciones o controlar su funcionamiento
- Anónima. El cifrado detrás del funcionamiento de una blockchain hace que la identidad real del usuario sea siempre preservada a la hora de realizar una transacción.

4.3 CONCEPTOS BÁSICOS

A continuación se pretende introducir algunos de los conceptos más comunes dentro del vocabulario de la tecnología blockchain. Algunos de estos conceptos se utilizarán en análisis y explicaciones posteriores, por ello la descripción de los mismos.

Nodo: Cada nodo representa un ordenador conectado a la blockchain, que es capaz de crear, transmitir o recibir un mensaje. Normalmente cada nodo constituye un elemento físico, aunque también pueden existir nodos virtuales. Se clasifican en:

- **Nodo completo.** Proporcionan seguridad a la red y se involucran en el proceso de validación de transacciones y bloques de acuerdo al mecanismo de consenso del sistema. Generalmente cada nodo completo descarga una copia de la blockchain con cada bloque y transacción. En cada red existen unos requisitos mínimos para los nodos completos.
- **Nodos de escucha (Supernodos).** Esencialmente, un nodo de escucha o supernodo es un nodo completo que es públicamente visible. Se comunica y proporciona información a cualquier otro nodo que decida establecer una conexión con él. Por lo tanto, un supernodo es básicamente un punto de redistribución que puede actuar como fuente de datos y como puente de comunicación.
- **Nodos ligeros.** Únicamente guardan una copia de una de las ramas de la blockchain. Aunque hacen uso de la red, no contribuyen a la seguridad de la misma.

Mecanismo de consenso: También conocido como algoritmo de consenso, consiste en un sistema microeconómico de incentivos y protección que garantiza que los agentes del sistema velarán por la veracidad e integridad de los registros en caso de comportamientos

desleales, voluntarios o involuntarios. Estos algoritmos protegen la red haciendo que, desde un punto de vista económico, sea más rentable ayudar a defenderla que atacarla. Los dos más destacados son:

- Prueba de trabajo (del inglés, *Proof of Work*, PoW). Fue la primera alternativa que surgió junto a Bitcoin. Se basa en el principio de que es complejo validar un bloque y que éste se una a la red, pero es fácil comprobar si dicho bloque es correcto.

Para validarlo se debe encontrar el *hash* del bloque resolviendo, mediante prueba y error, una función criptográfica cuya solución es fácil de obtener, pero difícil de encontrar.

Cuando un nodo encuentra el hash significa que se ha realizado el trabajo necesario. Aun así, no todos los nodos tienen las mismas posibilidades de validar, ya que, la probabilidad de encontrar el resultado de la función es proporcional al poder computacional (*hash rate*) que posea el usuario.

Este hecho, ha desencadenado en la creación de las *miner pools*, es decir, grupos de mineros que se juntan para tener mayor poder computacional y tener, así, más probabilidades de validar el bloque. Esto hace que este mecanismo esté cada vez más centralizado.

En este sistema, la recompensa se basa en la obtención de criptomonedas por el trabajo realizado. Estas, por un lado, son creadas al minar y, por el otro lado, provienen de las tasas de las transacciones que hay en el bloque.

La seguridad que ofrece este sistema se basa en que cualquier usuario que desee corromper la red debe poseer más del 50% del poder computacional total. Por otro lado, al tratarse de un sistema de prueba y error, este tipo de algoritmos de consenso consumen una gran cantidad de energía. Es por ello, por lo que se desarrollan otro tipo de algoritmos de consenso que intentan disminuir dicho consumo.

- Prueba de Participación (del inglés, *Proof of Stake*, PoS). Se trata de la primera alternativa al PoW. La principal diferencia respecto al caso anterior, es que en este caso la validación es más probable que la haga quien posea más riqueza en la red, no quien tenga más poder computacional.

Para validar en PoS el funcionamiento es similar al de una apuesta, cada nodo realiza una apuesta para tener derecho a validar un bloque, por tanto, quien posea más capitalización en el mercado, posee mayores probabilidades de validar el bloque.

Para corromper la red un usuario debería poseer el 51% de la riqueza de la red. Carecería de sentido que este usuario corrompiese la red, puesto que su riqueza perdería su valor.

Minar: Término que se refiere al proceso de verificar y validar transacciones, y añadirlas a un nuevo bloque. Como se ha comentado, para dar por válido un bloque un minero busca el *hash* del bloque y el resto de mineros lo validan. Obtienen beneficio por esta actividad a través de un sistema de recompensas.

Hash: Constituye la huella digital de un archivo y se obtiene a partir de una función matemática que transforma un mensaje en una huella de caracteres de longitud fija. Tiene especial importancia en la comprobación de la integridad de un archivo.

Token: Un *token* se define como “una unidad de valor que una organización crea para gobernar su modelo de negocio y dar más poder a sus usuarios para interactuar con sus productos, al tiempo que facilita la distribución y reparto de beneficios entre todos sus accionistas”. A diferencia de una criptomoneda, que representa dinero, un token representa valor. Adicionalmente, un token criptográfico representa un valor virtual. Tokens se pueden intercambiar y operar con ellos. Ethereum es la plataforma más popular a día de hoy para la creación de tokens a través de Contratos Inteligentes.

Existen diferentes tipos de tokens criptográficos:

- Security Token: representa un activo financiero.
- Utility Token: son tokens de aplicación o de usuario. Son ideados para acceder a un servicio o producto de una empresa, no como inversión.
- Equity Token: se trata de un tipo de security token. Quien tiene en su poder security tokens, poseen alguna forma de propiedad en sus inversiones.

Contrato Inteligente (Smart Contract): Se trata de un contrato que se define en un *script* almacenado en una blockchain. Se ejecuta automáticamente al cumplirse unas condiciones determinadas. Ethereum es la plataforma por excelencia para la operación de Smart Contracts.

Oráculo: son servicios ofrecidos por terceros que proporcionan a los Smart Contracts información externa. Dan acceso a datos *off-chain* (de fuera de la cadena) y sirven como puente entre las blockchains y el mundo exterior.

4.4 TIPOS DE BLOCKCHAIN

Los distintos tipos de blockchain puede clasificarse de dos formas: según el acceso a los datos o según los permisos.

En función del acceso a la información pueden clasificarse en:

- Blockchain públicas (del inglés, *public Blockchain*). Fueron las primeras en aparecer y se caracterizan por ser de libre acceso y no exigir a los usuarios ningún requisito para unirse a ellas o para la lectura o escritura de datos. Además no existe ninguna jerarquía entre nodos, por lo que cualquier nodo puede convertirse en nodo validador del sistema si lo desea y posee los medios adecuados. Por otro lado, dos aspectos importantes de este tipo de blockchain son la transparencia y el anonimato. La transparencia reside en que las transacciones y el código son abiertos y cualquier usuario puede acceder para leerlo. El anonimato se obtiene gracias al cifrado propio del funcionamiento de la blockchain y hace que la identidad real del usuario sea siempre preservada a la hora de realizar una transacción.
- Blockchain privada (del inglés, *private Blockchain*). En este caso, un grupo cerrado de actores tiene la autoridad para acceder, comprobar y añadir información. La lectura y escritura está limitada a este grupo, cuya identidad es conocida y al cual se le atribuye un cierto grado de confianza y fiabilidad. Existe jerarquía entre nodos, de modo que no cualquier nodo puede convertirse en nodo validador o tener acceso a los datos de los usuarios. Es por ello que los nodos validadores no necesitan ningún incentivo para realizar las tareas de validación. Además, este grupo está en posición de decidir qué nuevos usuarios podrán incorporarse a la red y bajo qué condiciones (por ejemplo, tener relación laboral o ser cliente de una empresa, ser propietario de una comunidad, pertenecer a un grupo empresarial concreto). También el cambio de las reglas de funcionamiento de la red es responsabilidad del grupo que la controla, a cambio de las blockchain públicas, donde se realiza por consenso.
- Blockchain mixta, híbrida o consorcio (del inglés, *consortium Blockchain*). Este tipo de blockchain consiste en un término medio entre las dos anteriores, cuyas características se parecerán más a una u otra dependiendo de la aplicación concreta y de cómo se haya construido la red.

Según los permisos:

- Blockchain con permisos (del inglés, *permissioned Blockchain*).
- Blockchain sin permisos (del inglés, *permissionless Blockchain*).

Esta clasificación se utiliza comúnmente para referirse a si existen requisitos necesarios para convertirse en miembro de una blockchain. Hasta hace poco, blockchain pública era equivalente a blockchain sin permisos (Bitcoin, Ethereum), y blockchain privada a blockchain con permisos (de hecho no existen blockchain privadas sin permisos). Sin embargo, recientemente se han desarrollado blockchain públicas con permisos, que buscan combinar las ventajas de ambos tipos, combinando permisos con un sistema de gobernanza descentralizado.

TIPO DE BLOCKCHAIN	PROPIEDADES
Blockchain público	<ul style="list-style-type: none"> - Libre acceso. No existen requisitos de entrada. - No existe jerarquía entre nodos. - Transparencia: cualquier nodo puede convertirse en nodo validador (los cuales reciben un incentivo para ello), leer o escribir en la blockchain. - Se mantiene el anonimato. - Algoritmos de consenso más robustos: Proof of Work (PoW), Proof of Stake (PoS).
Blockchain privado	<ul style="list-style-type: none"> - Existen requisitos de entrada. - Existe jerarquía entre nodos. Un grupo determinado y considerado de confianza, tiene control sobre la red y su funcionamiento. - La lectura y escritura en la blockchain está reservada a un grupo. - No todo nodo puede convertirse en validador. Es una tarea cerrada a ciertos nodos (ausencia de incentivos). - Mayor rapidez y menores costes por transacción al utilizar algoritmos de consenso más laxos.
Blockchain mixto	<ul style="list-style-type: none"> - Pueden existir requisitos de entrada. - Existe jerarquía entre nodos. - Los derechos cada nodo variarán en función de la aplicación.

Tabla 2. Tipos de Blockchain.

5 Estado del arte. Vehicle-to-Grid como servicio de balance

5.1 EL FUTURO DE LA ENERGÍA Y LA MOVILIDAD. VEHICLE-TO-EVERYTHING (V2X)

El concepto *Vehicle-to-Grid* (V2G), que se explicará más adelante, proviene de otro más general denominado *Vehicle-to-Everything* (V2X), el cual surge debido a la revolución en la que está inmersa el sector automovilístico y la sociedad. Los dos aspectos que guían esta etapa de cambio son la digitalización y la aparición del vehículo autónomo, que conducen a la necesidad de una conectividad impecable, fiable y segura.

Esta nueva generación de vehículos, además de mantener su función tradicional de medio de transporte de personas o bienes, se convierten en centros de datos móviles. Como resultado, los vehículos deben comunicarse, no solo con otros vehículos, sino también con peatones, infraestructuras o internet. Se estima que en 2030 un 15% del total de coches nuevos vendidos, serán autónomos, con cada uno de ellos procesando alrededor de 4000 GB de datos diariamente.

El conjunto de nuevas aplicaciones que aparecen en torno al automóvil, se denomina *Vehicle-to-Everything* (V2X). V2X es un término que agrega muchos acrónimos en función del par con el que se comunique el vehículo [12]:

- *Vehicle-to-Infrastructure* (V2I). Para la comunicación con unidades de tráfico como semáforos o cámaras.
- *Vehicle-to-Vehicle* (V2V). Para la comunicación entre vehículos.
- *Vehicle-to-Pedestrian* (V2P). Para escanear correctamente peatones, bicicletas y otros elementos.
- *Vehicle-to-Device* (V2D). Para la comunicación con smartphones.
- *Vehicle-to-Grid* (V2G). Para la comunicación entre vehículos eléctricos y red eléctrica.
- *Vehicle-to-Network* (V2N). Para la comunicación con redes móviles.

Los requisitos que aparecen en cada dominio y sus usos de caso asociados pueden ser diferentes, apareciendo así protocolos de comunicación diversos. Pese a ello, la tecnología 5G es clara candidata a ser la clave para desarrollar la comunicación V2X.

Como se ha visto, por una parte, el término V2G forma parte del reto del mundo de las telecomunicaciones de convertir los vehículos en unidades conectadas con su entorno. Por otra, surge de la evolución del sector eléctrico comentada y de la electrificación masiva de flotas de vehículos en los grandes núcleos urbanos.

El futuro de la energía es por tanto eléctrico, autónomo, digital y descentralizado.

5.2 MARCO LEGAL RELATIVO A LOS SERVICIOS DE BALANCE EN EL SISTEMA ELÉCTRICO PENINSULAR ESPAÑOL

Desde el día 23 de Diciembre de 2019, quedó recogida en el Boletín Oficial del Estado (BOE) la resolución 18423 [13], por parte de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC). En esta resolución se aprueban las condiciones relativas al balance para los Proveedores de Servicios de Balance (del inglés, *Balance Service Provider*, BSP) y los Sujetos de Liquidación Responsables del Balance (del inglés, *Balance Responsible Party*, BRP) en el sistema eléctrico peninsular español.

Cabe decir que esta resolución nace y está basada en el Reglamento 2017/2195 de la Unión Europea, por el que se establece una directriz sobre el balance eléctrico. Además, estas condiciones se hacen válidas 30 días después de la publicación en el BOE, es decir, desde el día 22 de enero de 2020. El documento está dividido en cinco títulos.

El título 2 del documento presenta las condiciones para los Proveedores de Servicios de Balance. El contenido incluye:

- Requisitos para la provisión de servicios de balance.
- Proceso de constitución.
- Condiciones de agregación.
- Proceso de habilitación.
- Asignación y transferencia de capacidad de balance.
- Requisitos de datos e información.
- Asignación y liquidación de provisión del servicio.
- Consecuencias de los posibles incumplimientos de las condiciones.

-
- Oferta de capacidad de balance no utilizada.

El título 3 del documento presenta las condiciones para los Sujetos de Liquidación Responsables de Balance. El contenido incluye:

- Definición de la responsabilidad del balance para cada conexión.
- Requisitos para convertirse en BRP.
- Requisitos de datos e información.
- Reglas de liquidación.
- Definiciones relativas a desvíos.
- Consecuencias de los posibles incumplimientos de las condiciones.
- Obligación de los BRP de comunicar al TSO cualquier cambio en su programa.
- Mecanismo adicional para liquidar los costes de las reservas.

Por último, en el título 4 se establecen normas para la suspensión y restauración de mercado.

5.3 TECNOLOGÍA VEHICLE-TO-GRID

La tecnología Vehicle-to-Grid (V2G) es aquella que permite a un vehículo verter energía en la red, específicamente la participación del vehículo eléctrico en servicios de balance [14]. El objetivo es optimizar la forma en la que se transporta, consume y produce la electricidad convirtiendo vehículos en “plantas de energía virtuales”. El concepto consiste en una gestión coordinada de la carga y descarga de baterías procedentes de una flota de vehículos eléctricos.

Los agentes involucrados en esta tecnología son los siguientes:

- Red de transporte. Operador del sistema de transporte (TSO). En el sistema eléctrico español Red Eléctrica de España (REE) toma este papel en competencia de monopolio, siendo propietaria de la red de transporte. Su misión, como operador del sistema, es asegurar el correcto funcionamiento del suministro eléctrico y garantizar en todo momento la continuidad y seguridad del suministro de energía eléctrica. Tiene un carácter central.
- Operador del Mercado Ibérico de Energía (OMIE). Gestiona el mercado mayorista de la electricidad, donde los agentes compradores y vendedores

contratan las cantidades que necesitan (MWh) a precios públicos y transparentes. Gestiona de manera integrada los mercados (diarios e intradiarios) para toda la Península Ibérica y su modelo de funcionamiento es el mismo que el de otros muchos mercados europeos. Es una actividad regulada y un monopolio natural.

- Red de distribución. Operador del sistema de distribución (DSO). En el caso español, se trata de un sector regularizado. Se encarga de llevar la energía hasta los puntos de consumo. Es de carácter local. Las empresas distribuidoras en España se muestran en la Ilustración 4 [15].

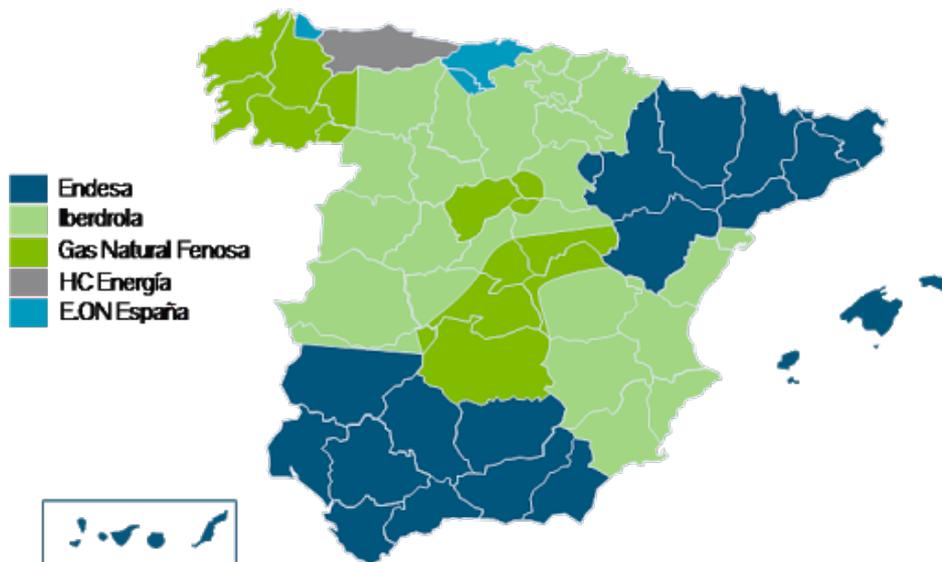


Ilustración 4. Mapa de las zonas de distribución. Fuente: [15]

- Comercialización. Sector liberalizado, cuya función es la venta de la energía eléctrica a los consumidores. En muchas ocasiones, la empresa distribuidora hace también de comercializadora, aunque al ser un sector liberalizado, no es estrictamente necesario.
- Agregador. Como se ha comentado anteriormente, agrupa recursos distribuidos de cara a proporcionar servicios de red.
- Proveedor de lugar de carga. Según este punto se diferenciarán dos escenarios: el lugar de carga es el lugar de residencia de un particular (del inglés, *Vehicle-to-Home*, V2H) o un edificio (del inglés, *Vehicle-to-Building*, V2B).
- Proveedor de la infraestructura de carga. Una característica importante es si la infraestructura de carga permite o no el flujo bidireccional de energía.

- Propietario del vehículo eléctrico. Se diferenciará entre propietario particular o flota de vehículos, ya que en este último caso se podría prescindir de agregador si la flota es lo suficientemente grande.

Para el funcionamiento correcto de V2G como servicio de balance, se hace imprescindible contar con un proveedor de sistemas de comunicación fiable, pues como se estudiará más adelante, el flujo de información será continuo y fundamental.

5.4 INICIATIVAS PRIVADAS VEHICLE-TO-GRID

A continuación se presentan las iniciativas más interesantes en torno a la tecnología V2G.

- Nuvve.

Nuvve [16] es una empresa con origen en San Diego, California, que a día de hoy cuenta con proyectos en numerosos países por todo el mundo. Su foco de trabajo se centra únicamente en la tecnología V2G y es sin duda la empresa más puntera en este sector. En 2019, anunció DREEV, un proyecto conjunto con el Grupo EDF para gestionar las operaciones comerciales en Europa.

Nuvve presenta soluciones tanto a nivel residencial como para flotas de vehículos, incluyendo en Estados Unidos autobuses escolares eléctricos. Sus productos incluyen dos cargadores V2G; uno funciona en corriente continua, y el otro, en alterna. El cargador de corriente continua permite entregar hasta 10 kW de potencia, mientras que el de alterna, 19 kW en configuración monofásica y 51 o 99 kW en configuración trifásica. Asimismo, introduce la plataforma GIVeTM, una plataforma inteligente gestionada desde la nube que permite al usuario gestionar la carga bidireccional de su vehículo y participar en servicios de red. Algunas de las funcionalidades de GIVeTM son:

- Alto nivel de control, posibilitando integrar activos de tamaño variable (kWh).
- Aplicación móvil y servicio web para establecer niveles de carga desde remoto.
- Agregación versátil con soporte para múltiples protocolos de comunicación.
- Datos personalizados sobre rendimiento, nivel de carga y flujo de energía.

En la Ilustración 5 se muestra un esquema explicativo de la infraestructura V2G proporcionada por Nuvve.

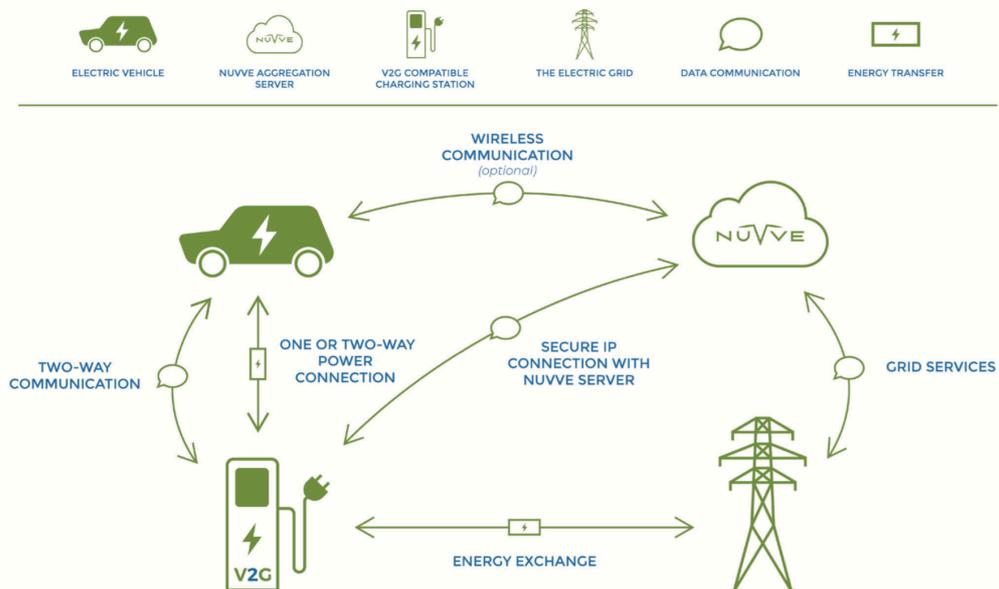


Ilustración 5. Infraestructura V2G proporcionada por Nuvve.

En la Ilustración se muestran las partes en las que se divide el esquema: VE que mediante una infraestructura de carga intercambia energía con la red. Al mismo tiempo, existe una plataforma digital que se comunica con las distintas partes.

A continuación se presenta una breve descripción de algunos de los proyectos más interesantes en los que Nuvve participa.

Nombre del proyecto	PARKER PROJECT
Cronograma	Agosto 2016 – Julio 2018 (finalizado)
Localización	Dinamarca
Partners	Mitsubishi Corporation, Mitsubishi Motors Corporation, PSA, Nissan, INSERO, Frederiksberg Forsyning, Enel, DTU
Servicios	Servicios de red Desarrollo del certificado Grid Integrated Vehicle (GIV) (Vehículo Integrado a la Red)

Tabla 3. Características del proyecto Parker de la firma Nuvve.

Nombre del proyecto	PROJECT LEO
Cronograma	Abril 2019 – Abril 2022
Localización	Oxfordshire, Inglaterra, Reino Unido
Partners	Scottish and Southern Electricity Networks (SSEN), University of Oxford, EDF Energy R&D UK Centre Limited, Oxford Brookes

	University, Oxford City Council, Oxfordshire City Council, Low Carbon Hub C.I.C., Pielo
Servicios	<p>Servicios de red al Operador del Sistema de Distribución probados con vehículos eléctricos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Intercambio de servicios de flexibilidad: ayuda a los DSO a obtener flexibilidad para diferir la inversión en la red, gestionar las interrupciones y la congestión en las redes. 2. Intercambio de capacidad local: ayuda a reducir el coste de conectar nueva generación a la red. 3. Comercio fuera de mercado: permitir el comercio de par a par entre proveedores de flexibilidad o dentro de su cartera.
Detalles	<ul style="list-style-type: none"> - Demostrar que la carga unidireccional y bidireccional de vehículos eléctricos puede participar en los mercados de los DSO. - Obtener conclusiones de la participación de vehículos eléctricos en mercados de flexibilidad a nivel local. - Combinar la flexibilidad de los vehículos eléctricos con la de otras fuentes como microredes o almacenamiento en baterías.

Tabla 4. Características del proyecto Leo de la firma Nuvve.

Nombre del proyecto	NETWORK IMPACT PROJECT
Cronograma	Comienzo: Abril 2018
Localización	Reino Unido
Partners	Northern Powergrid, Newcastle University
Servicios	Las pruebas realizadas proporcionarán información para diversas restricciones de red y medir el impacto de las estaciones V2G en la red de distribución local.
Detalles	<ul style="list-style-type: none"> - 19 estaciones V2G en oficinas de Northern Powergrid. - Los cargadores serán utilizados por empleados de Northern Powergrid.

Tabla 5. Características del proyecto Network Impact de la firma Nuvve.

- OVO Energy. Ovo Vehicle-to-Grid Trial.

Se trata de una iniciativa de carácter privado dirigida al sistema eléctrico de Reino Unido. Se encuentra en fase de prueba y está financiada por la agencia de innovación del gobierno, Innovate UK, dentro del proyecto Sciurus. Ovo Energy [17] colabora con Nissan, Indra y Cenex. Durante los últimos 18 meses han instalado infraestructura de carga V2G a lo largo de Reino Unido. La fase de prueba dura 24 meses desde la instalación del cargador, periodo en el que se analizan los resultados de la inversión.

OVO Energy presenta dos productos: un cargador V2G y una plataforma inteligente de energía que controla el cargador, denominada Kaluza. En cuanto al cargador V2G, tiene una potencia de 6 kW y es compatible con todos los vehículos eléctricos Nissan de 30 KWh o más capacidad de batería. Mediante la aplicación Kaluza, los participantes pueden:

- Establecer horarios de carga con la opción de anularlos para viajes inesperados.
- Establecer niveles mínimos de carga.
- Establecer niveles mínimos de carga.
- Visualizar el histórico de datos de carga.

El proceso es simple y funciona de la siguiente forma. El usuario introduce horario habitual de disponibilidad y un nivel mínimo de carga en la aplicación. Cuando está en casa, lo enchufa, y el cargador absorberá energía cuando la demanda en la red sea baja, y la exportará cuando sea alta. Toda la potencia que se haya vendido a la red generará un ingreso mensual para el usuario.

En la Ilustración 6 se muestra un esquema explicativo de la infraestructura V2G proporcionada por OVO Energy.

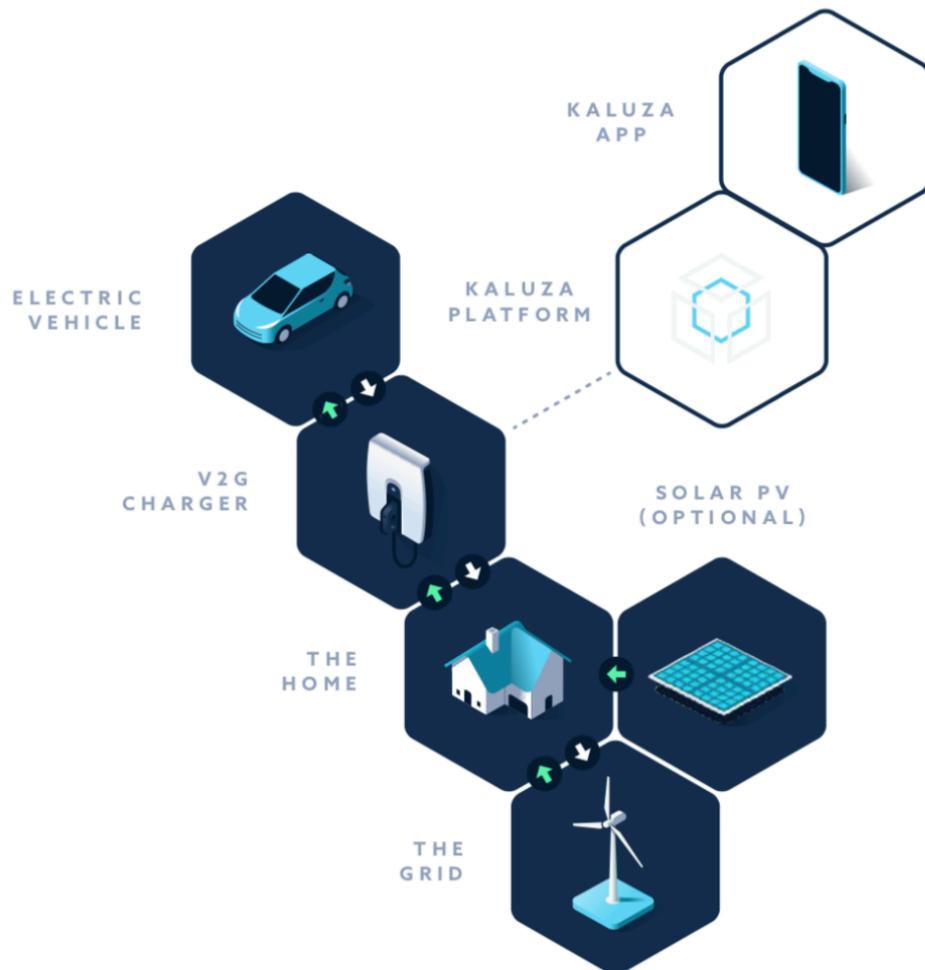


Ilustración 6. Infraestructura V2G proporcionada por OVO Energy. Fuente: [17]

Puede verse en la Ilustración cómo el esquema se divide en: VE conectado a través de una infraestructura de carga una casa, la cual emplea fuentes de energía renovables. A su vez, una app móvil que se comunica con la infraestructura de carga, sirve de plataforma de gestión al cliente.

5.5 ESQUEMA DE COORDINACIÓN

El esquema de coordinación tiene la función de identificar responsabilidades cuando TSO y DSO hacen uso de servicios de red. En el caso de estudio se presupone que el proveedor de servicios de flexibilidad, lo hace desde la red de distribución y es el TSO el único agente que accede a estos servicios. Por lo tanto, se propone un esquema de coordinación central [18]. El TSO se beneficia de este esquema de coordinación, ya que al ser el único comprador en el mercado, los productos negociados estarán diseñados a medida. Sin

embargo, se prevé que el DSO sufra un proceso de transformación en los próximos años, adquiriendo nuevas responsabilidades a nivel local.

En la siguiente figura se ve de forma esquemática en qué consiste un esquema de coordinación central:

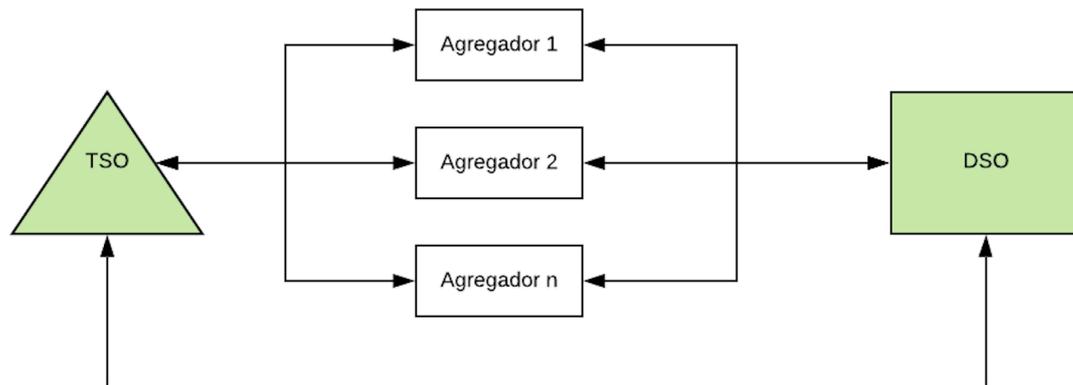


Ilustración 7. Representación de un esquema de coordinación central. Elaboración propia.

En resumen, los proveedores de servicios de balance, en este caso agregadores, envían sus respectivas ofertas de flexibilidad al Operador de Sistema. El TSO entonces casa las ofertas recibidas por parte de los proveedores con las necesidades de balance. Una vez concluido este proceso, los Agregadores se conectan a la red de baja tensión en los tramos horarios acordados, proporcionando energía de balance al TSO a través del DSO.

5.6 ESTUDIO DE LOS AGENTES INVOLUCRADOS EN DIFERENTES ESCENARIOS

Una vez visto la centralidad del esquema de coordinación que permite al TSO aprovechar los servicios de balance, toca entrar en detalle en como interactuarían los agentes involucrados en función del escenario. Para simplificar los procesos se parte de que existe únicamente un DSO.

5.6.1 ESCENARIO I. CARGA Y DESCARGA EN DOMICILIOS PARTICULARES.

El esquema mostrado recoge el flujo de información, energía y dinero entre los agentes involucrados. La información que se intercambia consiste en identidad de emisor y receptor de la transacción, fecha y resultado del casamiento de las necesidades de balance

por el TSO. El flujo de dinero agrupa todas las transacciones económicas que se generan por parte del TSO hacia el Agregador, y a su vez por parte de éste a otros. El flujo de energía representa la circulación de potencia activa desde la red al vehículo eléctrico y viceversa.

De esta forma, en la situación de la figura, dos sujetos diferentes que poseen vehículos eléctricos proporcionan servicios de balance a través de un mismo agregador desde su domicilio particular. Cada uno de estos dos sujetos, pese a estar conectados a la misma red de distribución, cuenta con contratos de compra de energía eléctrica con diferentes comercializadoras y tiene instaladas infraestructuras de carga distintas.

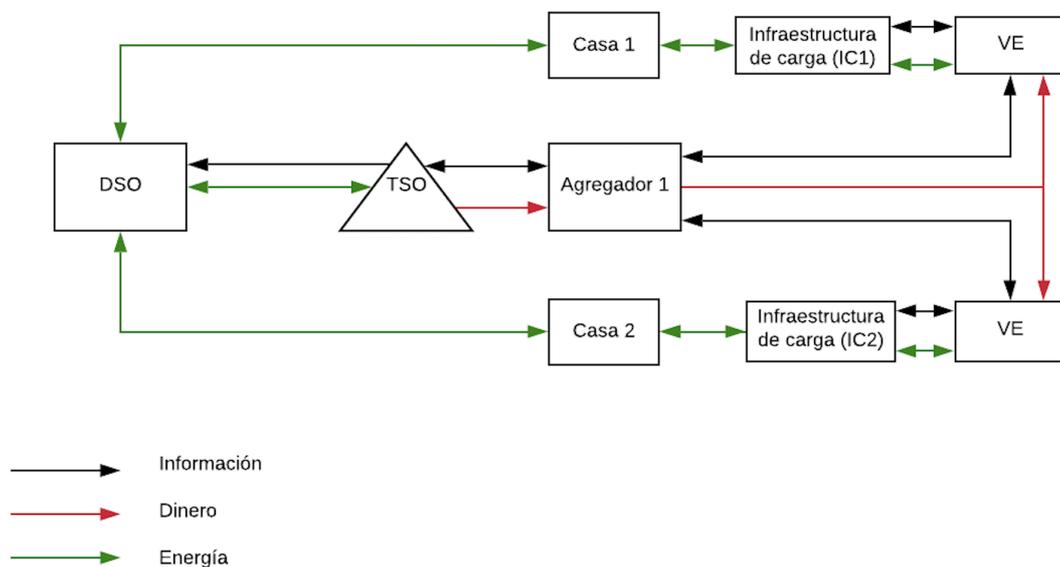


Ilustración 8. Escenario 1. Carga y descarga en domicilios particulares. Elaboración propia.

Antes de dar comienzo con el servicio de balance, el Agregador ha de firmar contratos con todas las partes que intervienen en el proceso. Primero, ha de firmar un contrato con la persona propietaria del vehículo eléctrico y residente en el domicilio desde el que se prestará el servicio de balance. Este contrato se divide en dos partes; la primera, incluye información de las características técnicas del vehículo; la segunda, se recoge los tramos horarios del día en los que el propietario del vehículo se compromete estar conectado a la red en dicho domicilio. En segundo lugar, ha de negociar con el proveedor de la infraestructura de carga el beneficio que éste obtendrá por la prestación de sus servicios. Por último, firmará un último contrato con la comercializadora. Mediante este contrato, la comercializadora proporciona al agregador una tarifa de electricidad específica para dar el servicio a cambio de una retribución monetaria.

Una vez acordados los puntos descritos y puesto en marcha el servicio de balance, el proceso seguiría el siguiente orden:

1. La comercializadora compra la energía en el mercado diario e intradiario organizado por el Operador de Mercado (OM).

2. Con la información referente a los vehículos disponibles, el Agregador presenta su oferta de balance de energía.
3. El TSO determina sus necesidades en términos de balance.
4. El TSO casa sus necesidades con las ofertas de los diferentes Agregadores.
5. El TSO comunica los resultados al DSO, el cual se pone al servicio del TSO para permitirle acceder al servicio de balance. El DSO determina si hay restricciones en la red donde están conectados los VE, si es así lo comunica al TSO.
6. El TSO hace la casación considerando posibles restricciones del DSO y comunica los resultados a los Agregadores.
7. Cada uno de los Agregadores decide con cuáles vehículos cumple la venta del servicio de balance y envía a sus clientes información de las órdenes de carga que han de seguir.
8. Una vez prestado el servicio de balance, el TSO paga a los Agregadores.
9. La comercializadora, que cumple la función de Sujeto Responsable de Liquidación, presenta al TSO y a cada Agregador los desvíos habidos en el servicio y sus correspondientes penalizaciones.
10. Los Agregadores emiten transacciones económicas al resto de agentes: propietario del VE, comercializadora y proveedor de la infraestructura de carga.

Puede haber variaciones respecto al modelo presentado, algunas de ellas son:

- En cuanto al proveedor de la infraestructura de carga, puede haber variaciones de quien cumple con este papel. Se presupone, a modo de simplificación, que el proveedor de la infraestructura de carga es el Agregador. Sin embargo, podría ocurrir que la Comercializadora o incluso un agente externo proporcionasen la infraestructura de carga. Si esto ocurriese, el Agregador pagaría a estos agentes una cantidad específica por el uso de la estación de carga para dar un servicio de red.

A continuación, se pretende analizar de forma más detallada la situación descrita, en la que varios vehículos prestan servicios de balance al TSO a través de un Agregador. Para ello, en la Tabla 4 se presentan de forma resumida las funciones de todos los agentes.

AGENTE	FUNCIONES
TSO	- Compra servicios de balance.

	<ul style="list-style-type: none"> - Casa las necesidades de balance con las ofertas de los Agregadores.
DSO	<ul style="list-style-type: none"> - Proporciona la red de distribución de media y baja tensión a la que se conectan vehículos eléctricos y otros recursos distribuidos.
Agregador (1)	<ul style="list-style-type: none"> - BSP. Vende un producto de balance al TSO. - Reúne vehículos eléctricos y otros recursos distribuidos para participar en servicios de balance. - Establece contratos con todas las partes que hacen posible la venta de servicios de balance al TSO. Estas partes son: Comercializadora, Infraestructura de Carga, Vehículo Eléctrico.
Comercializadora (1,2)	<ul style="list-style-type: none"> - Vende energía eléctrica al residente en el lugar de carga. - Negocia contratos de venta de electricidad a un precio determinado con el Agregador. - A través de la Infraestructura de Carga, llega un registro de la cantidad real de energía que finalmente se ha proporcionado en el producto de balance. <ul style="list-style-type: none"> - BRP.
Infraestructura de Carga (1,2)	<ul style="list-style-type: none"> - Medio de conexión del Vehículo Eléctrico a la red. - Proporciona la tecnología necesaria que permite el flujo bidireccional de energía. - Actúa como Contador Inteligente. - Para simplificar el modelo de negocio, se supone que la Infraestructura de Carga es proporcionada por el Agregador.
Vehículo Eléctrico (1,2)	<ul style="list-style-type: none"> - Se compromete con el Agregador a seguir un horario de carga y descarga concreto.

	<ul style="list-style-type: none"> - Recibe una parte del beneficio generado por la venta del producto de balance.
Casa (1,2)	<ul style="list-style-type: none"> - Lugar físico en el que se lleva a cabo el servicio de balance. - Se supone que el propietario del Vehículo Eléctrico reside aquí.

Tabla 6. Funciones de los agentes involucrados.

Como se ha comentado anteriormente, antes del comienzo de la actividad, es necesario que las partes involucradas lleguen a una serie de acuerdos o contratos. Mediante ellos, se garantiza la mayor rentabilidad posible y el correcto funcionamiento del ejercicio y el beneficio proporcional de cada parte. Un resumen de los mismos se muestra en la Tabla.

CONTRATO	PARTES INVOLUCRADAS	CONCEPTO
#1	Agregador (1) y propietario del Vehículo Eléctrico (1,2).	<ul style="list-style-type: none"> - Horario de carga y descarga más probable. - Características técnicas. - Retribución económica que gana el propietario del Vehículo Eléctrico por la prestación del servicio de balance del Agregador al TSO. - Vía app.
#2	TSO y DSO	<ul style="list-style-type: none"> - Restricciones técnicas del DSO.
#3	Agregador (1) y Comercializadora (1,2)	<ul style="list-style-type: none"> - Precios de compra y venta de electricidad durante se ejecuta el servicio de balance.

		- Condiciones de desvío.
--	--	--------------------------

Tabla 7. Contratos previos al producto entre los diferentes agentes para el Escenario I.

Vistos los distintos roles de cada agente así como los contratos previos a la actividad que se establecen entre ellos, toca registrar todas las transacciones que aparecerían en el proceso real en el que un Agregador vende un producto de balance al TSO. Con este fin se introduce la Tabla, en la que aparecen todas las transacciones ordenadas por orden de sucesión, características, emisor y receptor.

5.6.2 ESCENARIO II. CARGA Y DESCARGA EN UN EDIFICIO. VEHICLE-TO-BUILDING.

El esquema mostrado recoge el flujo de información, energía y dinero entre los agentes involucrados. La información que se intercambia consiste en identidad de emisor y receptor de la transacción, fecha y resultado del casamiento de las necesidades de balance por el TSO. El flujo de dinero agrupa todas las transacciones económicas que se generan por parte del TSO hacia el Agregador, y a su vez por parte de éste a otros. El flujo de energía representa la circulación de potencia activa desde la red al vehículo eléctrico y viceversa.

En este caso, diversos sujetos que poseen un vehículo eléctrico prestan servicios de balance al TSO a través de un edificio público, podría ser el lugar de trabajo o un aparcamiento. Este edificio, al igual que los domicilios de particulares en el caso anterior, posee un contrato de compra de energía con una comercializadora determinada así como de una infraestructura de carga adecuada proporcionada por un tercero.

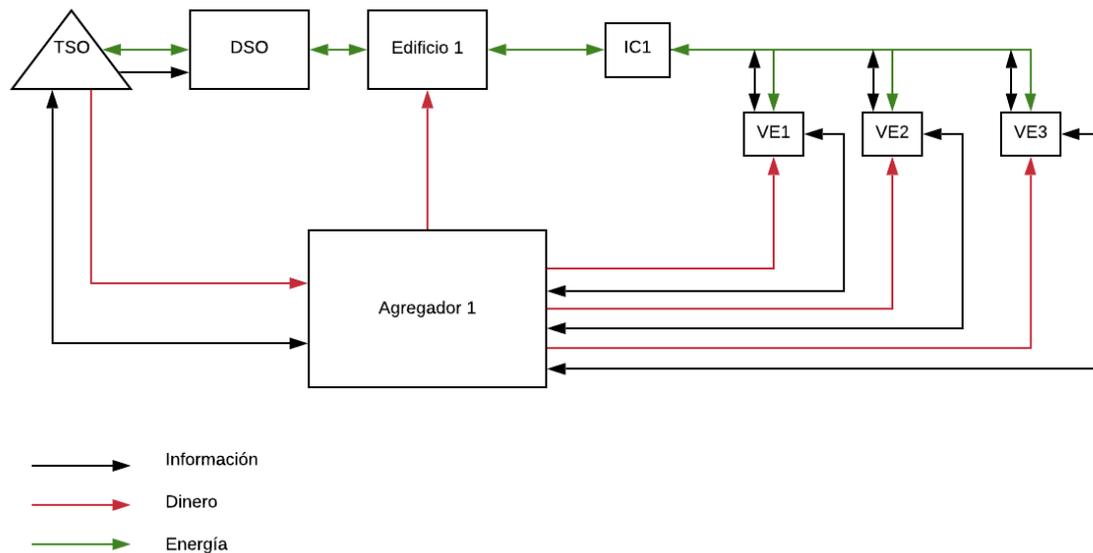


Ilustración 9. Escenario II. Carga y descarga en un edificio público. Elaboración propia.

Respecto a la situación del Escenario I, existen dos importantes diferencias a tener en cuenta. En el caso anterior la energía de balance era proporcionada por vehículos eléctricos cada uno situado en un punto diferente de la red. Ahora, la energía de balance se proporciona únicamente desde un punto de conexión a la red, lo cual supone un cambio en la gestión técnica del servicio. Otra disimilitud es que el propietario del vehículo eléctrico ya no es propietario del lugar de carga. Por tanto, aparece otro agente con el cual el Agregador llegará a un acuerdo económico a cambio de utilizar su edificio para conectar el conjunto de vehículos a la red.

Una variante del Escenario II aparece cuando se plantea que Edificio 1, por sí solo, reúna la cantidad suficiente de potencia para ofertar un producto de balance, prescindiendo así de la figura del Agregador. Por lo tanto, a la tabla presentada en el caso anterior se eliminaría la fila correspondiente a Casa (1,2) y se añadiría la siguiente.

AGENTE	FUNCIONES
Edificio 1	- Lugar físico donde se produce la carga o descarga del vehículo.

Tabla 8. Funciones adicionales de los agentes involucrados para el Escenario II.

Además, como se muestra en el esquema de este escenario, el Edificio 1 se beneficia de la actividad del servicio de balance, por lo que surge una nueva transacción económica desde el Agregador al Edificio 1. Este beneficio se ha de pactar entre ambas partes y ha

de quedar reflejado formalmente en un contrato. Así, en la tabla correspondiente a los contratos habría que sumar la siguiente fila.

CONTRATO	PARTES INVOLUCRADAS	CONCEPTO
#4	Agregador (1) y Edificio (1).	- Retribución económica que gana el Edificio 1 por la prestación del servicio de balance del Agregador al TSO.

Tabla 9. Contratos adicionales previos al producto entre los diferentes agentes para el Escenario II.

Como se estudiará más adelante, este escenario resulta de especial de interés para un posible modelo de negocio real e inmediato de prestación de servicios de balance a través de vehículos eléctricos. La principal razón es que resulta más fácil agregar potencia de esta forma, con la existencia de empresa, lugar de trabajo y empleados, que yendo individuo a individuo.

6 Blockchain para la gestión de V2G como servicio de red

En este apartado se pretende justificar y describir la oportunidad de negocio consistente en empleo de una blockchain para la agregación y gestión de vehículos eléctricos que, mediante la tecnología V2G, participen en el servicio de balance de la red. Pese a que en el apartado 4 se distinguieron dos escenarios, el estudio se centrará en el segundo. Para ello, se seguirán los siguientes pasos:

1. Análisis detallado de todas las transacciones involucradas en el proceso.
2. Justificación de en qué transacciones trae beneficios la gestión de las mismas a través de una blockchain.
3. Detalles técnicos de la implementación de la blockchain.

En la siguiente tabla se muestra una clasificación y análisis de las principales transacciones que aparecen en el proceso. A diferencia de los esquemas del Apartado 4, ahora se tiene en cuenta la posibilidad de que existan desvíos.

TRANSACCIÓN	TIPO	EMISOR	RECEPTOR	Especificación
#1	Información	VE	Agregador	Identificación y alta de un nuevo usuario. Datos referentes al propietario, vehículo y horario de carga.
#2	Información	TSO	Agregador	Casación de ofertas.
#3	Información	Agregador	VE	Órdenes de cuándo estar conectado a la infraestructura de carga para la carga y descarga del vehículo.
#4	Información	Infraestructura de carga	VE	Estado de carga del vehículo.

#5	Energía	Infraestructura de carga.	DSO, TSO	Potencia exacta proporcionada en el servicio de balance (kWh).
#6	Energía	Infraestructura de carga	Comercializadora, Agregador	Resultado de la actividad de balance finalizada.
#7	Información	Comercializadora	TSO, Agregador	Desvíos.
#8	Económica	TSO	Agregador	Pago por el producto de balance.
#9	Económica	Agregador	VE	Retribución económica correspondiente.

Tabla 10. Clasificación y análisis de las transacciones involucradas.

Adicionalmente a esta tabla se introduce otra en la que se analiza cuáles de estas transacciones tiene sentido que se gestionen en una blockchain y por qué.

TRANSACCIÓN	¿BLOCKCHAIN?	JUSTIFICACIÓN
#1	Sí	Cada nuevo usuario ha de quedar registrado en la blockchain.
#2	No	Tanto emisor como receptor son agentes únicos que pueden confiar el uno del otro. Son además los dos principales beneficiarios de la actividad de balance, por lo que carece de sentido que uno de ellos intente corromperla.
#3	No	Esta transacción puede realizarse vía app, diariamente.

#4	No	Esta información sirve para que el propietario del vehículo eléctrico sepa en todo momento el estado de carga de su vehículo y tome la decisión de cuándo desconectarlo de la estación de carga.
#5	No	La infraestructura informa en tiempo real a los operadores de la red de la potencia que se obtiene del producto de balance para la gestión técnica de la misma.
#6	Sí	Una vez terminado el producto de balance, quedará registrado, para cada usuario, el comienzo, el fin y la potencia intercambiada con la red de forma inmutable, segura y descentralizada. Es importante incluir esta información en la blockchain para que no exista la posibilidad de que otros usuarios busquen falsificar la potencia de balance intercambiada.
#7	Sí	El desvío de cada usuario será contabilizado por la Comercializadora, e influirá en el desvío final de potencia respecto a la acordada inicialmente con el TSO. Por este desvío se penalizará al Agregador y éste a su vez repartirá el beneficio de la actividad teniendo en cuenta qué usuarios se han desviado y

		<p>en qué medida de las órdenes de balance.</p> <p>Por tanto, el desvío de cada usuario ha de aparecer en la blockchain. Será una información pública, anónima e inmutable. Con ello se asegura que no exista fraude por parte de usuarios malignos que busquen falsificar e incrementar el desvío del resto de usuarios.</p>
#8	No	<p>Es una transacción económica entre agentes únicos. En el caso de que hubiese más Agregadores que participasen en el mismo producto de balance, si uno de ellos tuviese un comportamiento fraudulento en búsqueda de su propio beneficio, el TSO actuaría como ente supervisor y regulador.</p>
#9	Sí	<p>Una vez finalizado el producto de balance y los desvíos liquidados, se hace llegar a cada usuario de la red el pago correspondiente. Este pago va asociado a la cantidad de potencia intercambiada, el momento y el desvío de cada usuario, datos también registrados en la red.</p> <p>La transacción económica se envía desde el Agregador a cada usuario a través de la blockchain, teniendo en cuenta los datos mencionados. La transacción se realiza de</p>

		<p>forma automática, segura y anónima. Es validada por la red y queda registrada en la misma para siempre. Se elimina por tanto la posibilidad un hackeo de la red en el que se busque emitir transacciones falsas, pues estas no serían validadas por la misma.</p>
--	--	--

Tabla 11. Justificación del empleo de blockchain en cada transacción.

Una vez definidas las transacciones que se gestionarán a través de una blockchain, cabe definir ciertas características técnicas de la estructura de la misma. Las más importantes son:

- Tipo de red. Blockchain pública o privada.
- Necesidad de uso de Smart Contracts para la automatización de pagos.
- Nodos existentes.

Todo ello será desarrollado en más profundidad en el siguiente apartado, conociendo ya el caso de uso real que se propone.

7 Modelo de negocio

Habiendo visto en el apartado 6 el caso de uso de la tecnología blockchain en la agregación de potencia y participación en servicios de balance de red con el uso de vehículos eléctricos, ahora toca aplicar esta idea a un caso real y desarrollar el modelo de negocio.

Dentro de los dos escenarios introducidos en el apartado 4, se escoge el segundo, en el que el servicio de balance se proporciona desde un edificio público. Si bien un edificio público podría ser un aparcamiento o un centro comercial, se ha pensado que un lugar de trabajo sería una mejor opción. La razón es que, en un lugar de trabajo, existe una relación formal entre el propietario del vehículo eléctrico, el empleado, y la entidad propietaria del lugar donde se realiza la carga, la empresa que contrata al empleado. En un aparcamiento o un centro comercial, pese a reunir una cantidad grande de vehículos en un mismo lugar, existe un factor de riesgo importante, al menos a día de hoy, la aleatoriedad de si los vehículos que entran en el edificio son o no eléctricos, y de cuántos vehículos entran cada día. Esta aleatoriedad te impide proporcionar un producto de balance adecuado, pues posiblemente los desvíos serían continuos. Sin embargo, si el lugar de trabajo es la empresa en la que trabaja el propietario del vehículo eléctrico, este factor desaparece. De tal forma, el horario de trabajo del empleado constituiría el horario en el que el vehículo permanece conectado a la red. Cuando el empleado termina su jornada laboral, vuelve a casa y pone a cargar el vehículo eléctrico en su domicilio. Lo más normal es que por la noche el coche no vierta energía a la red sino que simplemente se cargue, por lo que no será necesaria una infraestructura de carga bidireccional.

En España el uso del vehículo eléctrico está creciendo cada año. El año 2019 cerró con un aumento de un 64% respecto al año anterior de nuevas matriculaciones de vehículos eléctricos. Las Comunidades Autónomas en las que circulan un mayor número de vehículos eléctricos son Madrid y Cataluña, muy por encima del resto de España. Madrid es la ciudad que se propone para desarrollar el modelo de negocio. Además de ser la ciudad española en la que el uso del vehículo eléctrico más crece, cuenta con dos localizaciones ideales para el fin buscado. Estas dos localizaciones son las ciudades financieras del Banco Santander y del Banco Bilbao Vizcaya Argentaria (por sus siglas, BBVA).

La ciudad financiera del Banco Santander, Ciudad Grupo Santander, se sitúa en el municipio de Boadilla del Monte (Madrid) y ocupa una superficie de 250 hectáreas. En ella, trabajan más de 6000 empleados. Por otro lado, la ciudad financiera del BBVA, Ciudad BBVA, se sitúa en el barrio madrileño de Las Tablas. Ocupa un total de 114000 metros cuadrados y alberga también más de 6000 profesionales.

Otra ventaja de elegir estas dos instituciones financieras, es que ambas tienen la posibilidad de llegar a un acuerdo con marcas de vehículos eléctricos, y sus propios empleados para facilitar y financiar la compra de los mismos, con el objetivo de, junto al Agregador, construir una red V2G de la que todas las partes se beneficien. Esta red y el producto de balance se gestionará a través de una blockchain, como se explicó en el apartado 6.

Al final del apartado anterior se introdujeron tres aspectos técnicos relevantes en cuanto a la estructura de la red, que ahora, conociendo el modelo de negocio real que se propone, se desarrollan más detenidamente. El primero de ellos es el tipo de blockchain, pública o privada. Pese a que se podría construir una blockchain privada para la actividad, en España existe Alastria, una asociación sin ánimo de lucro que fomenta la economía digital a través de aplicaciones descentralizadas [19]. Los socios de Alastria tienen dos redes operativas, Red T y Red B. La primera de las redes actuales de nodos de socios de Alastria (Red T) está construida sobre tecnología Quorum, red pública permissionada basada en Ethereum. Al estar esta red basada en Ethereum es ideal para la creación de Smart Contracts que ejecuten los pagos a cada vehículo eléctrico una vez finalizado el producto de balance y liquidados los desvíos. Ser socio de Alastria, trae como beneficio entre otros, poder realizar transacciones en la red a coste cero (al contrario del coste de gas de una red clásica). Tanto el Banco Santander como el BBVA, ya son socios de esta red, por lo que únicamente faltaría que Agregador y Comercializadora formasen parte de la misma. Tanto Naturgy como Iberdrola, operadoras de la red de distribución en Madrid que también actúan como comercializadoras también son empresas socias de Alastria. Cada vehículo eléctrico simplemente interactuaría con la red vía app.

A continuación se analizará con ayuda del Business Model Canvas los elementos más importantes que conforman esta oportunidad de negocio. Esta metodología permite identificar la propuesta de valor, los clientes y las finanzas que rodean la agregación de potencia de balance mediante vehículos eléctricos y la gestión de esta actividad a través de la tecnología blockchain.

En la Ilustración 10 se presenta el Business Model Canvas del proyecto en cuestión, cuyos apartados se discutirán más adelante.

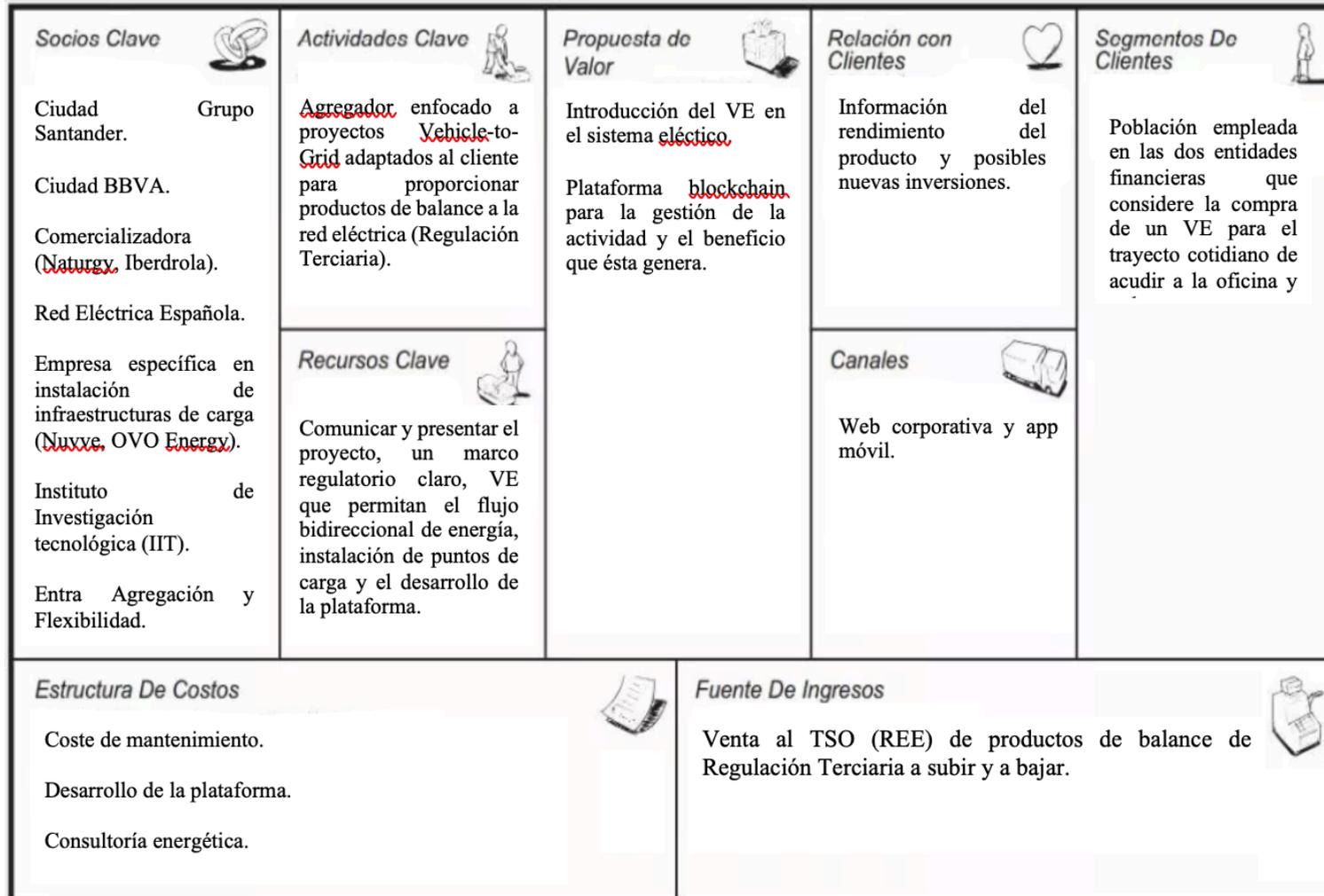


Ilustración 10. Business Model Canvas del proyecto.

De los distintos puntos que forman el Business Model Canvas, todos a excepción de la estructura de costes y la fuente de ingresos, se analizan brevemente en este apartado. Para estos dos últimos se dedicará el apartado 8.

7.1 SOCIOS CLAVE

Los socios clave son aquellos agentes con los que la cooperación es necesaria para llevar a cabo la actividad. En este caso, éste es uno de los puntos más importantes dentro del modelo de negocio, ya que existen un número considerable.

En primer lugar, ambas firmas financieras, Ciudad Grupo Santander y Ciudad BBVA, que proporcionan el lugar físico donde los VE vierten energía a la red durante el día y conforme a un determinado producto de balance acordado entre REE y el Agregador. Además, en cierto modo puede considerarse que facilitan propietarios de VE con un horario fijo para la prestación del servicio de balance. Si el producto de balance estuviese pensado para algún otro tipo de edificio público, como un aparcamiento o centro comercial, existiría un factor aleatorio de cuándo van a llegar los clientes al lugar de carga y cuánto tiempo van a estar en el lugar. Pese a que es posible emplear algoritmos estadísticos que den solución a esta situación, en principio resultaría más difícil desarrollar el producto. Si los propietarios de cada VE y participantes en el servicio de balance, son a su vez empleados de la financiera, existe un conocimiento del horario de cada trabajador y una seguridad casi absoluta del cumplimiento del mismo, lo que deriva en la creación de un producto más rentable, pues se evitan penalizaciones asociadas a desvíos. Esto supone una gran ventaja que ofrece este tipo de localización respecto a otra. Otro punto positivo para proponer estas dos localizaciones, es que están situadas cerca de zonas residenciales. Muchos de los empleados utilizan el coche para ir a trabajar cada día, recorriendo una distancia relativamente corta. Estos individuos serían excelentes candidatos, pues la batería llegaría con un porcentaje de carga elevado a la oficina, optimizando de nuevo el producto. En definitiva, cualquier entidad que disponga de espacio para instalar puntos de carga y de trabajadores propietarios de un VE, sería un socio clave para el Agregador en cuanto a la creación de un producto de balance de Regulación Terciaria. En el caso que ocupa el estudio, en ambas sedes financieras el consumo de electricidad es muy elevado, debido principalmente a la gran cantidad de personas que se reúnen y a los Centros de Procesamiento de Datos (CPD). Una de las principales tareas del área TIC es optimizar los CPD, por lo que un proyecto de este tipo podría resultar atractivo. Los pasos a seguir son, realizar una primera toma de contacto con personal de esta área y presentar el proyecto. A partir de ahí, introducir un listado de modelos de VE compatibles con carga bidireccional y determinar cuántos empleados son ya propietarios de uno o están interesados en su adquisición.

Otro socio clave son las propietarias de la red de distribución en Madrid, Naturgy e Iberdrola que normalmente coinciden con las comercializadoras. Sería necesario encontrar cuál de ellas opera en la Ciudad Grupo Santander y la Ciudad BBVA. Estarían

involucradas en la selección e instalación de la infraestructura de carga más adecuada para la red. También serían las responsables de los desvíos de energía.

Por último, se hace vital un amplio conocimiento técnico en ingeniería eléctrica para la instalación y conexión de la infraestructura de carga a la red de distribución, como un asesoramiento en temas de mercados eléctricos. Para ello se propone la colaboración con el Instituto de Investigación Tecnológica de ICAI como con Entra, una asociación de empresas especializada en agregación y flexibilidad. Entra también ayudaría conceptos relativos a la constitución formal de un Agregador dedicado al producto de balance de Regulación Terciaria.

7.2 ACTIVIDADES CLAVE

La actividad clave del proyecto consiste en la constitución de un Agregador de recursos distribuidos, especializado en proyectos V2G. La función es reunir la potencia suficiente y las condiciones necesarias para participar en servicios de balance, en concreto en el producto de Regulación Terciaria a subir y a bajar dentro del sistema eléctrico español, cuyo comprador sería REE. En primera instancia se proponen como localización la Ciudad Grupo Santander y la Ciudad BBVA, pero el proyecto sería aplicable de igual forma a otras entidades. El objetivo es desarrollar un producto que permita que, tanto propietarios de los VE como los dos bancos y REE se beneficien del mismo.

El enfoque del Agregador es desarrollar proyectos personalizados para cada entidad. Para cada proyecto se distinguen dos tipos de clientes. Primero, la empresa que proporciona el lugar de carga. Esta empresa es a su vez el lugar de trabajo del segundo tipo de cliente, el propietario del VE que busca obtener un beneficio económico por participar en la actividad. Esta relación es vital para desarrollar el proyecto de forma óptima. Al mismo tiempo es diferente según quién sea el primer cliente, por ello posiblemente el producto final en la Ciudad Grupo Santander sería diferente al de la ciudad BBVA. Una de las características fundamentales de este Agregador es precisamente no tratar el producto de balance como algo público, sino dotarlo de un carácter individual.

Pese a que la tasa anual de ventas de VE crece cada año, en España actualmente no existen iniciativas dedicadas a integrar el VE en el sistema eléctrico. Convertirse en pionero en este sector es un logro atractivo. Llegar el primero a este mercado ayudaría a que en un futuro se pueda emplear la misma idea en otros productos de balance o incluso servicios al DSO, el cual se prevé que adquiera cierto protagonismo.

7.3 RECURSOS CLAVE

Los recursos claves se definen como los activos y capacidades clave para garantizar el éxito del modelo de negocio. Estos recursos pueden ser físicos, intelectuales, humanos o financieros.

Para comenzar, hay que realizar una primera toma de contacto con la Ciudad Banco Santander y la Ciudad BBVA. De esta forma hay que proponer, comunicar y presentar el proyecto, sus ventajas, una breve explicación del mismo y un resumen de los beneficios estimados. Es necesario determinar con qué cargo de las entidades contactar, aunque el área CIO parece una buena primera opción.

La regulación es uno de los puntos más importantes a la hora de llevar a cabo la ejecución del proyecto. En el apartado 4.2 se hizo referencia al marco legal sobre la agregación de recursos distribuidos para dar servicios de balance. Sin embargo, éste se puede ver visto a diversas modificaciones en el futuro. Este grado de incertidumbre puede conducir a una demora en el proyecto. Al tratarse de una actividad regulada, cumplir el marco legal es obligatorio. Por ello, para el diseño óptimo del producto cabe esperar a que éste sea definitivo.

Otro de los recursos claves para poder llevar a cabo la actividad son los VE que permitan el flujo bidireccional de energía. Los VE elegidos han de ser compatibles con la infraestructura de carga instalada. En este caso se ha seleccionado la infraestructura de carga en corriente alterna de la empresa del sector Nuvve [20], descrita anteriormente en el apartado 4.4. Los vehículos compatibles con este cargador son: Nissan Leaf, Mitsubishi iMiev y Mitsubishi Outlander PHEV.

Como último recurso clave se encuentra el desarrollo de la plataforma que utilice la red blockchain de Alastria o una blockchain privada para la gestión del producto, así como de una app móvil para el servicio. Para esta labor surge la obligación de contratar o colaborar con un equipo de programadores expertos en la materia.

7.4 PROPUESTA DE VALOR

La propuesta de valor del proyecto reside en introducir en el sector eléctrico el elemento del VE a nivel particular como parte activa a través de productos de balance. Los proyectos se diseñan para entidades que proporcionen el lugar de carga y los propietarios de los VE son empleados de estas empresas. Para coordinar la actividad se propone una plataforma basada en la tecnología blockchain. La justificación del uso de esta tecnología, descrita ya en el apartado 6, se fundamenta en dar seguridad, automatización,

inmutabilidad y transparencia a la gran cantidad de transacciones económicas y de información que genera el día a día de la actividad.

Cada propietario de cada VE recibe dispone de acceso a una app móvil, que sirve como medio de comunicación con la red. El funcionamiento de la plataforma es el siguiente:

1. Cada usuario sigue un primer proceso de identificación: datos personales y bancarios, modelo de VE, horario de disponibilidad. Al terminar este proceso de identificación, cada usuario queda registrado en la red.
2. El usuario recibe órdenes de carga y se conecta a la infraestructura de carga. Se ejecuta el producto de balance acordado entre Agregador y REE. Una vez finalizada la actividad, se *hashea* el *log* de la cantidad de energía intercambiada.
3. Se contabilizan los desvíos y se comunican al usuario. Se *hashea* el *log* de esta transacción de información.
4. Se ejecutan los pagos pertinentes al usuario por la actividad. Se *hashea* el *log* esta transacción económica. Es por esto que la app móvil ha de incluir una *fintech* para la realización de los pagos.
5. Se ejecuta un Smart Contract y se introducen los tres *hash* en la red y se asocian al usuario.

De esta forma la red blockchain se actualiza cada vez que un usuario proporciona un determinado producto de balance. Se incluye la información necesaria para garantizar un funcionamiento transparente del servicio de balance, evitando posibles fraudes.

7.5 SEGMENTOS DE CLIENTES, RELACIÓN Y CANALES

El segmento de clientes que abarca el proyecto incluye personas de entre 30 y 50 años que vean la adquisición de un vehículo eléctrico una opción atractiva. La participación en productos de balance ha de ser un valor añadido que ayude a tomar esta decisión. Otra característica a tener en cuenta para determinar el segmento de clientes, es la distancia que separa sus respectivos domicilios del lugar de trabajo. Aquellos que vivan más cerca, tendrán que recorrer una distancia menor y se podrá utilizar un mayor porcentaje de la batería del vehículo para el servicio, resultando en un mayor beneficio económico.

Los clientes se comunican y reciben información relativa al producto de balance a través de una app móvil. Esta app sirve también de canal de comunicación directo con los mismos. La app envía a cada usuario informes que resumen de forma detallada el producto de balance cada vez que se ejecuta: hora de comienzo, hora de finalización, estado inicial de carga, estado final de carga, porcentaje de la batería empleado, posibles desvíos, infraestructura de carga utilizada y pago asociado a cada producto.

Adicionalmente incluyen herramientas que recogen estadísticos acerca de la actividad desde el comienzo de la misma: beneficio total, beneficio medio diario, horario de carga habitual, desvíos sucedidos.

Como medio de captación de clientes se proponen campañas de marketing que promocionen la actividad entre los empleados de ambas entidades financieras. Se podría llegar a acuerdos con las marcas de los vehículos implicados para que de alguna forma ofreciesen descuentos a aquellas personas que decidiesen comprar un vehículo con el fin de participar en servicios de balance. Estos descuentos también podrían venir de parte de las entidades financieras o podrían ser sustituidos por ayudas económicas públicas.

8 Análisis de costes y financiación

A lo largo de este apartado se pretenden analizar los diferentes costes que surgen en el desarrollo y mantenimiento de la plataforma, para así determinar la inversión inicial necesaria. Para ello se calculará el *discounted cash flow*.

8.1 ESTRUCTURA DE COSTES

Coste de transacciones

Como se expresó con anterioridad, si la plataforma blockchain se desarrolla en la red Alastria, no existe coste de transacción para los miembros de la asociación. Por tanto este coste puede ser omitido.

Coste de desarrollo de la plataforma

Uno de los costes fundamentales que derivan del desarrollo de la plataforma es la necesidad de un montaje con integración. Este tipo de montaje, en contraposición al montaje sin integración, permite a la empresa estar conectada con el sistema, fundamental para enviar las órdenes de carga y descarga a cada usuario. También la plataforma ha de ser capaz de recibir información *off-chain* al comunicarse con la infraestructura de carga. Por último, también recibirá información de la *fintech* que gestione los pagos a los usuarios. Todos estos procesos elevan el coste de desarrollo de la plataforma hasta un coste aproximado de 30000 euros.

Costes de mantenimiento y gestión

En cuanto al coste de mantenimiento y gestión de la plataforma, para el primer año se supondrá de 500 euros mensuales, un total de 6000 euros al año. Se trata de una plataforma descentralizada y automatizada. Además, al no estar abierta al público, sino únicamente dedicada a los empleados de las dos entidades, se reduce notablemente el riesgo de fallos y por ende el coste asociado a éstos. Es posible que este coste aumente en años futuros en los que el número de usuarios crezca con la adquisición de nuevos clientes, aunque no de manera proporcional. Se tomará el dato de un crecimiento de un 2% del coste de mantenimiento y gestión de la plataforma por cada 100 nuevos usuarios. El ritmo de crecimiento de usuarios se estima en un 5% anual.

8.2 FUENTE DE INGRESOS

En este apartado se pretende realizar una previsión de los ingresos generados por el proyecto Vehicle-to-Grid gestionado con blockchain como producto de Regulación Terciaria a subir y a bajar.

Como se comentó en el apartado 7.3, sería una buena opción utilizar la infraestructura de carga proporcionada por la empresa Nuvve, compatible con los vehículos Nissan Leaf, Mitsubishi iMiev y Mitsubishi Outlander PHEV.

En primer lugar habría que determinar el número de puntos de carga a instalar. Para ello, se ha de introducir un problema de optimización, el cual ha de asumir varias suposiciones:

- Patrón de movilidad. Según [21], la distancia media viajada por un usuario de vehículo eléctrico es de 43 km siendo el uso más común viajes del día a día. Este dato se puede utilizar para representar el recorrido de ida y vuelta al lugar de trabajo por los participantes en el producto.
- Se supone la jornada laboral igual para todos los usuarios, de 8:00 a 18:00. Se asume que cuando el usuario llega a la oficina a las 8:00 conecta el vehículo, y lo desconecta a las 18:00, cuando se va. Por otra parte, la hora de conexión y desconexión del punto de carga en el domicilio particular, siguen una distribución normal de medias 21:00 y 7:00 respectivamente.
- Se define el estado del vehículo (kWh) para cada hora como la carga actual menos la energía a subir más la energía a bajar.
- Mínimo estado de carga (kWh). En ningún caso el estado de carga de cada vehículo ha de ser inferior al 20% o un valor parecido de la capacidad de la batería al final de la jornada laboral. Este margen se deja para posibles desplazamientos del usuario hasta que el vehículo finalmente quede conectado al punto de carga en el domicilio para ser cargado durante la noche.
- Para cada hora del día en la que se preste el servicio, en ningún caso el estado de carga de cada vehículo será superior a la capacidad máxima de la batería (kWh) del mismo. Del mismo caso, en ningún caso se ha de superar el ratio de carga/descarga de cada batería
- Para cada hora del día en la que se preste el servicio, el estado de carga será tal que no se superen los límites impuestos por la infraestructura de carga.
- La potencia mínima agregada es de 1 MW.
- Para obtener el precio por el producto para cada hora se ha de utilizar el precio de Regulación Terciaria a subir [22] y a bajar [23] del último año.

- Se pueden añadir parámetros que reflejen, tanto la degradación de las baterías, como las pérdidas en el proceso de carga y descarga. Sin embargo, estos parámetros pueden ser omitidos para la simplificación del modelo.

Puesto que el objeto de estudio de este trabajo no es la resolución de este problema, se escogerán los resultados presentados en [14]. Es necesario destacar varios aspectos del mismo:

- Se toma un valor de máxima capacidad de batería de 85 kWh. Este valor es el que suele tomarse en casos de estudio, siendo superior a los valores de los tres modelos de vehículo mencionados anteriormente.
- Los patrones de movilidad, carga y descarga de los vehículos difieren.
- El valor mínimo de potencia agregada es de 100 kW.
- Se utilizan los precios del año 2015, los cuales son ligeramente superiores a los del año 2019.

Los resultados del estudio reflejan un beneficio estimado de 0,319 euros por coche y día para una flota de 200 vehículos.

Como fuente de ingresos de la plataforma, se cobrará un porcentaje del beneficio estimado. Pese a que el valor de esta cifra es objeto de un extenso análisis, se tomará un valor de un 50%. Por el hecho de los precios haber disminuido de 2015 a 2019, el beneficio final diario por VE será de 0,14 euros. Por último, el número de días de cada año en los que se proporciona el producto se aproxima a 288. Este número se obtiene de considerar 6 días por semana, por 52 semanas, menos 2 días de vacaciones por mes.

En la Tabla 8 se muestra un resumen de los valores de los diferentes parámetros utilizados en este caso para estimar el beneficio generado en la actividad.

PARÁMETRO	VALOR
Número de VE	200
Capacidad de la batería	85 kWh
Crecimiento anual de usuarios	5%
Beneficio diario por VE	0,14 euros
Valor mínimo de potencia agregada	100 kW
Coste de desarrollo	30000 euros
Coste de mantenimiento y gestión el primer año	6000 euros

Tasa de crecimiento del coste de mantenimiento	2% por cada 100 nuevos usuarios
Días por año en los que se presta el servicio	288

Tabla 12. Principales parámetros empleados en la estimación de ingresos.

A continuación, se muestra en la Tabla una estimación de los ingresos generados por la plataforma durante los cuatro primeros años. Como puede observarse, desde el primer año los ingresos superan a los gastos, lo que hace que la inversión inicial necesaria obtenida por el método de *discounted cash flow* sea de 30000€.

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Desarrollo de la plataforma	-€ 30.000				
Número de VE		200	210	221	232
Coste de mantenimiento y gestión		-€ 6.000	-€ 6.012	-€ 6.025,23	-€ 6.038,48
GASTO TOTAL	-€ 30.000	-€ 6.000	-€ 6.012	-€ 6.025	-€ 6.038
INGRESOS		€ 8.064	8467,2	8910,72	9354,24
TOTAL	-€ 30.000	€ 2.064	€ 2.455	€ 2.885	€ 3.316

Tabla 13. Cálculo de los ingresos de la plataforma durante los cuatro primeros años.

La rentabilidad a los cuatro años, calculada como el beneficio total acumulado entre la inversión inicial multiplicado por cien, resulta siendo un 35,7%. Teniendo en cuenta que se trata de un proyecto que podría perdurar en el tiempo durante varios años más, se trata de una inversión rentable

La inversión inicial se puede obtener de la aportación de capital de las entidades involucradas en el proyecto o mediante una ronda de financiación con inversores externos.

9 Conclusiones y líneas futuras

9.1 CONCLUSIONES

El cambio climático supone una amenaza para el planeta, razón por la que los países del mundo han determinado estrictas políticas climáticas para combatirlo. En la primera parte de este trabajo se ha visto la evolución del mix energético mundial, que deja a un lado los combustibles fósiles y convierte las fuentes de energía renovables en el principal foco de desarrollo. Posteriormente se ha introducido el periodo de transición energética en el que se encuentran los sistemas eléctricos. Los tres pilares fundamentales del mismo son la descarbonización, la digitalización y la descentralización. Aparecen las Smart Grids, redes eléctricas que integran de una forma óptima recursos energéticos distribuidos y hacen al consumidor parte activa del sistema a través de la conectividad y las tecnologías de la información.

A continuación se ha analizado brevemente la figura del Agregador, cuya función es reunir la potencia necesaria para participar en servicios de red y proveer flexibilidad. Se ha examinado la lista de productos existentes para los distintos servicios de red. Puesto que el estudio se ha centrado en el producto de Regulación Terciaria a subir y a bajar, se ha comentado el marco legal existente que regula las actividades de balance dentro del sistema eléctrico español.

El siguiente paso ha consistido en presentar la revolución automovilística que vive la sociedad, en la que los vehículos conectados adquieren nuevas funciones aparte de continuar siendo medios de transporte. Se ha particularizado el empleo del vehículo eléctrico como recurso energético que proporciona un producto de balance a la red a través de un Agregador. La infraestructura de carga bidireccional permiten verter energía de la batería del coche a la red, y viceversa. Esta tecnología es denominada Vehicle-to-Grid, la cual ya se hace presente en iniciativas de carácter privado.

El objeto de análisis de este trabajo ha sido la aplicación de la tecnología Blockchain para la gestión de la actividad en la que propietarios de vehículos eléctricos proporcionan de forma agregada un producto de Regulación Terciaria al operador de la red de transporte. Se ha definido qué es una blockchain y cuáles son las características que la hacen candidata para esta labor: transparencia, inmutabilidad y automatización. Se han distinguido dos escenarios: cada usuario proporciona el producto de balance desde su domicilio particular o todos los usuarios lo hacen en un edificio público. La metodología empleada ha sido contabilizar, clasificar y explicar todas las transacciones involucradas en cada proceso, así como las relaciones entre los diversos agentes, para posteriormente justificar si tiene sentido o no aplicar blockchain en ellas.

Los resultados obtenidos han sido similares en ambos escenarios. Las etapas en las que se justifica el uso de una blockchain son: alta de un nuevo usuario en la plataforma;

contabilización de la energía intercambiada por cada vehículo al finalizar el producto de balance; liquidación de desvíos y pagos a los usuarios.

Adicionalmente, se profundiza en el modelo de negocio del escenario en el que los usuarios acuden a un edificio público para participar en el producto de balance. Se proponen las entidades financieras Ciudad Grupo Santander y Ciudad BBVA como lugares ideales para el desarrollo del proyecto. Los empleados de dichas entidades proporcionarían de forma conjunta el servicio de balance, aportando un horario fijo y estable de carga. Esto resultaría en un producto más optimizado que en otro edificio público, como un centro comercial, en el que existe un factor de aleatoriedad que supone una desventaja inicial para proyectos de este tipo.

9.2 LÍNEAS FUTURAS

Una vez vistas las principales conclusiones del estudio, cabe hacer referencia a algunas de las posibles futuras líneas de investigación relacionadas con éste. Al ser un proyecto que presenta una oportunidad de negocio aún no explotada, así como combina tecnologías innovadoras y recientes, el número de líneas futuras es considerable.

Las más destacadas se presentan a continuación:

- Profundizar en los aspectos regulatorios a tener en cuenta para la constitución del Agregador y su posterior función de BSP. La potencia mínima agregada actualmente para participar en servicios de balance es una cantidad demasiado alta que requeriría un número de vehículos eléctricos también muy elevado. Se podría calcular el valor de esta potencia mínima tal que los proyectos V2G se convirtiesen en una opción viable.
- Estudiar el impacto que tendría un proyecto de este tipo en la red de distribución y si este impacto interferiría en el producto de balance y de qué forma.
- Ampliar el lugar donde se proporciona el producto de balance a otro tipo de espacios públicos como parkings o centros comerciales. Desarrollar modelos estadísticos que tengan en cuenta los patrones de movilidad de las personas y la aleatoriedad, para poder ver el resultado en el producto de balance.
- Realizar un análisis financiero detallado. Este análisis ha de incluir los precios actualizados de Regulación Terciaria a subir y a bajar y la infraestructura de carga bidireccional, la cual a priori supone un coste considerable.
- Funcionamiento de la blockchain. Analizar el funcionamiento de la red, la velocidad con la que los datos de cada transacción se implementan en la red y si

finalmente la red de Alastria es la mejor opción o una blockchain privada resulta más interesante. Del mismo modo, plantear la tokenización de la energía intercambiada y ver qué ventajas aportaría esta acción.

10 Bibliografía

- [1 «BP statistical review of world energy 2019,» 2019. [En línea]. Available:
] <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>.
- [2 Enerdata, «Global Energy Trends 2019 Edition,» [En línea]. Available:
] <https://www.enerdata.net/about-us/company-news/energy-statistical-yearbook-updated.html>.
- [3 «Las instalaciones eléctricas,» [En línea]. Available:
] https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947843/contido/5_las_instalaciones_elctricas.html.
- [4 «Sistema de suministro eléctrico,» [En línea]. Available:
] https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_suministro_eléctrico.
- [5 REE, «Transformación Digital del Sector Eléctrico,» 2017. [En línea]. Available:
] https://www.ree.es/sites/default/files/Transformacion_Digital_Sector_Electrico.pdf.
- [6 Schneider Electric, «Smart Grid, la nueva era de la red eléctrica,» 4 03 2016. [En línea]. Available: <https://blogspanol.se.com/redes-inteligentes/2016/03/04/smart-grid-la-nueva-la-red-electrica/>.
- [7 eseki, «Microredes,» [En línea]. Available: <http://www.eseki.com/es/microredes>.
]
- [8 A. C. Dr. Pep Salas, «Agregación de Recursos Energéticos Distribuidos (DER). Obstáculos y recomendaciones para un desarrollo íntegro del mercado,» 2017.
- [9 Coordinet, «Definition of scenarios and products for the demonstration campaigns,» 2019. [En línea].
- [1 «REGLAMENTO (UE) 2017/2195 DE LA COMISIÓN de 23 de noviembre de 2017 por el que se establece una directriz sobre el balance eléctrico,» 28 11 2017. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/doue/2017/312/L00006-00053.pdf>.

-
- [1] «Tecnología blockchain: funcionamiento, aplicaciones y retos jurídicos relacionados,»
1] 2018. [En línea]. Available:
<https://www.uria.com/documentos/publicaciones/5799/documento/art02.pdf?id=7875>.
- [1] Altran, «5G on the highway to V2X,» 2020. [En línea]. Available:
2] https://www.altran.com/es/en/integrated_solution/vehicle-to-everything-v2x/.
- [1] «Disposición 18423 del BOE núm. 307 de 2019,» 2019. [En línea]. Available:
3] <https://www.boe.es/boe/dias/2019/12/23/pdfs/BOE-A-2019-18423.pdf>.
- [1] A. L. d. L. Mérida, «VEHICLE TO GRID (V2G) SERVICES,» Madrid, 2018.
4]
- [1] energía y sociedad, «4.3. Distribución,» [En línea]. Available:
5] <http://www.energiaysociedad.es/manenergia/4-3-distribucion/>.
- [1] Nuvve CORP, [En línea]. Available: <https://nuvve.com>.
6]
- [1] OVO Energy, «OVO Vehicle-to-Grid Trial,» [En línea]. Available:
7] <https://www.ovoenergy.com/electric-cars/vehicle-to-grid-charger>.
- [1] Coordinet, «Business use case : Business use case definition,» [En línea]. Available:
8] <https://coordinet-project.eu/publications/deliverables>.
- [1] «Alastria Association of Decentralized/Blockchain Technologies,» [En línea].
9] Available: https://alastria.io/wp-content/uploads/2020/05/20200520_Alastria-Corporate-presentation_ESP.pdf.
- [2] NUVVE Corp, «Nuvve PowerPort High-Power AC Charging Station,» 05 2020. [En
0] línea]. Available: <https://nuvve.com/wp-content/uploads/2020/05/nuvve-powerport-spec-sheet-us-ul-energystar-certified-v5.0-may-2020.pdf>.
- [2] «Résultats de l'enquête BVA auprès des possesseurs de véhicules électriques,» 2020.
1] [En línea]. Available: <https://www.enedis.fr/actualites/resultats-de-lenquete-bva-aupres-des-possesseurs-de-vehicules-electriques>.
- [2] «Precio Regulación Terciaria a subir,» [En línea]. Available:
2] https://www.esios.ree.es/es/analisis/677?vis=1&start_date=01-06-2019T00%3A00&end_date=01-06-2020T23%3A50&compare_start_date=31-05-2019T00%3A00&groupby=hour.

-
- [2] «Precio Regulación Terciaria a bajar,» [En línea]. Available:
- 3] https://www.esios.ree.es/es/analisis/676?vis=1&start_date=01-06-2019T00%3A00&end_date=01-06-2020T23%3A50&compare_start_date=31-05-2019T00%3A00&groupby=hour.
- [2] J. M. Sánchez-Ventura del Águila, «Provision of balancing services with electric
- 4] vehicles,» 2016.

Anexo I. Integración de los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) constituyen la agenda para el progreso de la sociedad en los próximos años. En el siguiente apartado se pretende analizar cuáles de ellos aparecen en este trabajo.

Existen un total de 17 ODS, los cuales se dividen en tres dimensiones: biosfera, sociedad y economía. A su vez, dependiendo del grado de implicación que tengan en el proyecto, pueden ser primarios o secundarios.

En la siguiente tabla se muestran los ODS que se identifican en el proyecto:

Dimensión	ODS identificado	Rol	Razón
Biosfera	ODS 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.	Secundario	Se promueven productos de balance que ayudan a una integración más óptima de las renovables en el sistema eléctrico. Adicionalmente, se fomenta el vehículo eléctrico.
Sociedad	ODS 7: Garantizar el acceso a energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.	Primario	El trabajo propone una herramienta para gestionar un producto de balance, el cual supone una mejora para la red eléctrica.
Economía	ODS 9: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.	Primario	Se fomenta la evolución del sistema eléctrico hacia las Smart Grids.