

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA ENERGÉTICA
SOSTENIBLE

TRABAJO FIN DE MÁSTER

PROPUESTA DE NUEVA CADENA DE VALOR DE REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES PARA EMPRESAS DEL PAÍS VASCO



Estudiante: Garrido Del Pozo, Sara Alba

Directora: Idoeta Hernandorena, Raquel

Curso: 2022/2023

Fecha: Bilbao, a 19 de septiembre de 2023

Resumen:

En el presente Trabajo Fin de Máster se desarrolla el concepto de una nueva cadena de valor de las redes eléctricas inteligentes en el País Vasco para la Asociación Cluster de Energía.

Dentro de este proyecto, se tiene en cuenta la integración de las Smart Grids en el sistema hasta la fecha, analizando tanto la arquitectura de dicha tecnología como el avance del sector en Euskadi.

Además, se proponen medidas para actualizar el catálogo de Smart Grids de ACE. Estas actuaciones tienen como finalidad la actualización de la información existente en este segmento de mercado, con el objetivo de poder ofrecer un mejor servicio por parte del Cluster de Energía del País Vasco hacia las compañías y organismos asociados.

De esta manera, se pretende impulsar al sector de bienes y equipos eléctricos del País Vasco en el ámbito de las nuevas actividades digitales.

El presente Trabajo Fin de Máster contribuye a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de Agenda 2030 promulgada por la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Concretamente, el TFM pretende realizar una aportación a los ODS 7: “Energía asequible y no contaminante”, ODS 8: “Trabajo decente, y crecimiento económico”, ODS 9: “Industria, innovación e infraestructura”, ODS 11: “Ciudades y comunidades sostenibles”, ODS 12: “Producción y consumo responsable” y ODS 17: “Alianzas para los objetivos”.

Palabras clave:

Smart Grids, Redes eléctricas, Cadena de valor

Abstract:

This Master's Thesis develops the concept of a new value chain for Smart Grids in the Basque Country for the Basque Energy Cluster.

Within this project, the integration of Smart Grids in the system to date is taken into account, analysing both the architecture of this technology and the progress of the sector in the Basque Country.

In addition, measures are proposed to update the Basque Energy Cluster's Smart Grids catalogue. The aim of these actions is to improve the existing information in this market

segment, in order to be able to offer a better service by the Basque Country Energy Cluster to the associated companies and organisations.

In this way, the Thesis focuses on the promotion of the Basque Country's electrical goods and equipment sector in the field of new digital activities.

This Master's Thesis contributes to the Sustainable Development Goals of the 2030 Agenda promulgated by the United Nations. Specifically, this Master's Thesis aims to make a contribution to SDG 7: "Affordable and clean energy", SDG 8: "Decent work and economic growth", SDG 9: "Industry, innovation and infrastructure", SDG 11: "Sustainable cities and communities", SDG 12: "Responsible production and consumption" and SDG 17: "Partnerships for the goals".

Keywords:

Smart Grids, Electricity grids, Value Chain

Laburpena:

Master Amaierako Lan honetan Euskadiko sare elektriko adimendunen balio-kate berri baten kontzeptua garatzen da Euskadiko Energia Klusterentzat.

Proiektu honen barruan, Smart Grid-ak orain arte sisteman sartu izana hartzen da kontuan, teknologia horren arkitektura zein sektoreak Euskadin izan duen aurrerapena aztertuz.

Gainera, Euskadiko Energia Klustearen Smart Grids katalogoa eguneratzeko neurriak proposatzen dira. Jarduera horien helburua merkatu-segmentu horretan dagoen informazioa eguneratzea da, Euskadiko Energia Klusterrak zerbitzu hobea eskaini ahal izateko konpainia eta erakunde elkartuei.

Horrela, Euskal Autonomia Erkidegoko ondasun eta ekipo elektrikoaren sektorea bultzatu nahi da jarduera digital berrien esparruan.

Master Amaierako Lan honek Nazio Batuen Erakundeak (NBE) aldarrikatutako Agenda 2030en Garapen Jasangarrirako Helburuei laguntzen die. Zehazki, MALak ekarpen bat egin nahi die 7. GJHei: "Energia eskuragarria eta ez-kutsatzailea", 8. GJHei: "Lan duina eta hazkunde ekonomikoa", 9. GJHei: "Industria, berrikuntza eta azpiegitura", 11. GJHei: "Hiri eta komunitate jasangarriak", 12. GJHei: "Ekoizpen eta kontsumo arduratsua" eta 17. GJHei: "Helburuak lortzeko aliantza".

Hitz gakoak:

Smart Grids, Sare Elektrikoak, Balio-katea

Índice

Lista de tablas	7
Lista de figuras	8
Lista de siglas y acrónimos	11
1. INTRODUCCIÓN.....	16
2. CLUSTER DE ENERGÍA.....	18
3. CONTEXTO.....	22
4. OBJETIVOS Y ALCANCE	26
5. METODOLOGÍA	28
6. ESTADO DEL ARTE	29
6.1 Red eléctrica convencional	29
6.2 Evolución a las <i>Smart Grids</i>	34
7. BENEFICIOS	41
7.1 Beneficios energéticos de las <i>Smart Grids</i>	41
7.2 Beneficios económicos de las <i>Smart Grids</i>	41
7.3 Beneficios ambientales de las <i>Smart Grids</i>	42
7.4 Beneficios sociales de las <i>Smart Grids</i>	42
8. ARQUITECTURA Y ELEMENTOS DE LAS SMART GRIDS.....	44
8.1 Micro-redes.....	49
8.2 Tecnologías en Smart Grids	50
8.3 Electrónica de potencia.....	54
9. CADENA DE VALOR DE LAS REDES ELÉCTRICAS EN EL PAÍS VASCO	56
9.1 Operadores de red.....	57
9.2 Servicios de Diseño e Ingeniería.....	59
9.3 Montaje y mantenimiento.....	65
9.4 Servicios centrados en el cliente y participación de los usuarios	74
9.5 Sistemas digitales, aplicaciones y análisis de datos	78
9.6 Equipos digitales AT/MT.....	85
9.7 Electrónica de potencia y almacenamiento.....	89
9.8 Equipos de protección, automatización, control y comunicación	96
9.9 Contadores inteligentes y equipos de medida	100
9.10 Ensayos y certificaciones de equipos electrónicos	101
9.11 Agentes de conocimiento e I+D en tecnología de redes eléctricas	103
9.12 Proyectos <i>Smart Grid</i> en Euskadi.....	109

9.12.1	Bidelek Sareak.....	109
9.12.2	Global <i>Smart Grids</i> Innovation Hub	112
10.	RESULTADOS.....	115
10.1	Intermediarios energéticos del sistema.....	115
10.2	Servicios de Diseño, Ingeniería y Consultoría	117
10.3	Montaje, mantenimiento y servicio post-venta.....	118
10.4	Servicios centrados en el nuevo consumidor.....	119
10.5	Gestión y explotación de datos	119
10.6	Equipos digitales avanzados de protección, automatización, control y comunicación	120
10.7	Equipos y dispositivos inteligentes de medida y gestión	122
10.8	Electrónica de potencia y almacenamiento	122
10.9	Ensayos y certificaciones de equipos	123
10.10	Agentes de conocimiento e I+D en tecnología de redes eléctricas inteligentes.....	123
11.	PROPUESTA DE MEDIDAS	125
12.	CONCLUSIONES.....	126
13.	DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS (DIAGRAMA DE GANTT)	129
14.	BIBLIOGRAFÍA.....	132

Lista de tablas

Tabla 1. Diferencias entre redes eléctricas convencionales y <i>Smart Grids</i> [15]	39
Tabla 2. Nuevas figuras de intermediarios energéticos del sistema. Fuente: Elaboración propia (2023)	116
Tabla 3. Comparación entre las cadenas de valor actual y nueva. Fuente: Elaboración propia (2023)	124

Lista de figuras

Figura 1. Junta Directiva de la Asociación Cluster de Energía [4]	20
Figura 2. <i>Smart Grids Basque Country</i> [4]	21
Figura 3. Red eléctrica inteligente [7].....	23
Figura 4. Fases de actuación del TFM. Fuente: Elaboración propia (2023)	28
Figura 5. Sistema de generación convencional [9].....	30
Figura 6. Constitución de los Sistemas Eléctricos [10].....	31
Figura 7. Línea eléctrica de transporte [10]	32
Figura 8. Subestaciones transformadoras reductoras [10].....	33
Figura 9. Centros de transformación [11]	34
Figura 10. Sistemas de energía eléctrica tradicional (a) y de próxima generación (b). [13].....	36
Figura 11. Tecnología V2G [14].....	39
Figura 12. Evolución de los sistemas de medición [18].....	45
Figura 13. Infraestructura de Medición Avanzada [20]	45
Figura 14. Arquitectura básica de las <i>Smart Grids</i> [21].....	46
Figura 15. Subniveles de red [23]	47
Figura 16. Esquema de funcionamiento de contadores AMI [28].....	52
Figura 17. Comparación de medidas de SCADA y PMU [31]	53
Figura 18. Tecnologías de almacenamiento según el IDAE [32].....	54
Figura 19. Convertidor para sistemas de baterías de 100 kW [33]	55
Figura 20. Cadena de valor de las empresas de redes eléctricas del País Vasco [36]	57
Figura 21. Estructura de control para la red DC del Programa <i>Grid2030</i> [39]	58
Figura 22. Contadores Inteligentes de Iberdrola [42].....	59
Figura 23. Proyecto GySeG [44].....	60
Figura 24. Refrigeración de la batería en un VE [47]	61
Figura 25. Gama de producto <i>Smart Grids</i> de BT [49].....	62
Figura 26. Telecontrol y Automatización de subestaciones por BOSLAN [50].....	62
Figura 27. Gemelo Digital de INKOLAN [52]	63
Figura 28. Solución inteligente para la gestión avanzada y la predicción de faltas en cuadros eléctricos [54].....	64
Figura 29. Unidades de carga para VE de GOBESA [58]	66
Figura 30. Montaje de Subestación de 24 kV en Leioa [59].....	67
Figura 31. Digitalización de instalaciones de AT por ELDU [60].....	67
Figura 32. Instalación de elementos de AT por BET [64]	68
Figura 33. Sistema AOSS [69].....	70
Figura 34. Celdas de Equipel [70].....	70

Figura 35. Sistema <i>WireWatch</i> de GALEA ELECTRIC [74].....	71
Figura 36. Control y monitoreo de HITACHI ENERGY [75].....	72
Figura 37. Plataforma Euskabea-Sattins [78].....	73
Figura 38. Sensores OilHealth y OilWear [80].....	74
Figura 39. <i>Active Grid</i> de Indra [82].....	75
Figura 40. Analítica avanzada de datos de centros de meteorología por METEO FOR ENERGY [84].....	76
Figura 41. Inversor DC/DC de EPOWERLABS [88].....	77
Figura 42. Esquema de la herramienta de analítica avanzada de ARIADNA GRID [94].....	79
Figura 43. Plataforma Edge Industrial de Barbara IoT [96].....	79
Figura 44. Plataforma de XABET [98].....	80
Figura 45. M-tech Labo de MITSUBISHI Corporation [104].....	81
Figura 46. Servicios de ciberseguridad de Grupo S21 [106].....	82
Figura 47. <i>Smart Meter</i> de ACLARA [107].....	82
Figura 48. <i>Smart Grid</i> de GENERAL ELECTRIC [109].....	83
Figura 49. <i>Smart Grid</i> del Grupo FEV [110].....	84
Figura 50. PCVUE SOLUTIONS: Dominio de interfaces entre Humanos, Sistemas y Objetos Conectados [111].....	85
Figura 51. Esquema de <i>Smart Grid</i> del catálogo de Electrotaz [114].....	86
Figura 52. Celda tipo CBGS-0 de MESA [115].....	87
Figura 53. Transformador inteligente de Ormazabal [118].....	88
Figura 54. Restaurador trifásico <i>smart</i> de Artech [120].....	89
Figura 55. Convertidores de almacenamiento de AEG [123].....	90
Figura 56. Inversores solares de JEMA ENERGY [125].....	91
Figura 57. Semiconductores con tecnología de carburo de silicio de CAF [128].....	92
Figura 58. Sistemas de fotónica de LUMIKER [129].....	93
Figura 59. Fabricación de cargadores inteligentes de ZIGOR [132].....	94
Figura 60. INGETEAM <i>Smart Grids</i> [134].....	95
Figura 61. Baterías ion-litio de CEGASA [136].....	96
Figura 62. Circuitos de System-on-Chip engineering [137].....	97
Figura 63. Armario de medida directa de Industrias Pinazo [139].....	97
Figura 64. Envolventes modulares para contadores de Uriarte SafyBox [141].....	98
Figura 65. Contadores inteligentes de ZIV [143].....	99
Figura 66. Representación gráfica del servicio de Gestión Energética de ENERMETRIK SOLUTIONS [145].....	100
Figura 67. Sistema de monitorización de MERYTRONIC [146].....	101
Figura 68. Laboratorio de <i>Smart Grids</i> de TECNALIA [148].....	102

Figura 69. Certificación IEC 62443-4-1 de BUREAU VERITAS [151] 103

Figura 70. Gemelo digital de LORTEK [155] 104

Figura 71. Testeo y caracterización de baterías en CIDETEC [156] 105

Figura 72. Laboratorio de ciberseguridad industrial de IKERLAN [158] 106

Figura 73. Laboratorio de electrónica de la UPV/EHU [159]..... 107

Figura 74. DeustoTech *Smart Grids* [163]..... 109

Figura 75. Proveedores de Bidelek Sareak [165]..... 110

Figura 76. Exposición y demo de productos y desarrollos tecnológicos abordados en Bidelek Sareak [166] 110

Figura 77. Laboratorio de desarrollo de proyectos del *Global Smart Grids Innovation Hub* [169] 112

Figura 78. Ubicación de los agentes participantes en *Global Smart Grids Innovation Hub* [170] 113

Figura 80. Descripción de las tareas (diagrama Gantt del TFM). Fuente: Elaboración propia (2023) 130

Lista de siglas y acrónimos

3E2020: Estrategia Energética de Euskadi 2030

ACE: Asociación Cluster de Energía

ADMS: Advance Distribution Management System (Sistema de Gestión de Distribución Avanzada)

AFE: Analog-Front End (Frontal Analógico)

AMI: Advanced Metering Infrastructure (Infraestructura de Medición Avanzada)

AMR: Automatic Meter Reading (Lectura Automática de Contadores)

AOSS: Always Ongoing Sufficiency System (sSistema de Autosuficiencia Eléctrica Permanente)

APERT: Applied Electronics Research Team (Grupo de Investigación en Electrónica Aplicada)

AR: Augmented Reality (Realidad Aumentada)

AT: Alta Tensión

BAN: Building Area Network (Red de Área de Edificio)

BESS: Battery Energy Storage System (Sistema de Almacenamiento de Energía de Baterías)

BIM: Building Information Modeling (Modelado de Información de Construcción)

BT: Baja Tensión

CC: Corriente Continua

CO₂: Dióxido de carbono

DMS: Distribution Management Systems (Sistemas de Gestión de la Distribución)

DSL: Digital Subscriber Line (Línea de Abonado Digital)

DNOs: Distribution Network Operator (Operador de la Red de Distribución)

DSO: Distribution System Operator (Operador del Sistema de Distribución)

Traducción del inglés-Un operador de red de distribución,

EERR: Energías Renovables

EMS: Energy Management Systems

EMS2: Energy Management Systems & Solutions

ESE: Empresa de Servicios Energéticos

EVE: Ente Vasco de la Energía

FACTS: Flexible Alternating Current Transmission System (Sistemas de Transmisión Flexibles de Corriente Alterna)

FPGA: Field-Programmable Gate Array (Matriz de Puertas lógicas Programable en Campo)

GaN: Gallium Nitride (Nitruro de Galio)

GEI: Gases de Efecto Invernadero

GIS: Geographic Information System (Sistema de Información Geográfica)

GISEL: Grupo de Investigación en Sistemas de Energía Eléctrica

GTs: Grupos de Trabajo

HAN: Home Area Network (Red de Área Doméstica)

HFC: Hybrid Fiber-Coaxial (Red Híbrida Fibra-Coaxial)

HMI: Human-Machine Interface (Interfaz Hombre-Máquina)

HPC: High Power Charging (Carga Rápida)

HVAC: High Voltage Alternating Current (Corriente Alterna de Alta Tensión)

HVDC: High Voltage Direct Current (Corriente Continua de Alta Tensión)

HW: Hardware

I+D: Investigación y Desarrollo

IA: Inteligencia Artificial

IAN: Industrial Area Network (Red de Área Industrial)

IDAE: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

IEs: Iniciativas Estratégicas

IEA: International Energy Agency (Agencia Internacional de la Energía)

IED: Intelligent Electronic Device (Dispositivo Electrónico Inteligente)

IoT: Internet Of Things (Internet de las cosas)

km: Kilómetro

kV: Kilovoltio

LAN: Local Area Network (Red de Área Local)

LiDAR: Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging
(Detección y Rango de Luz o Imágenes, Detección y Rango láser)

M2M: Machine to Machine (Máquina a Máquina)

MESA: Manufacturas Eléctricas, S.A.U.

MT: Media Tensión

NAN: Neighbourhood Area Network (Red de Área de Vecindario)

O&M: Operación y Mantenimiento

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

OMS: Outage Management Systems (Sistemas de gestión de interrupciones)

ONU: Organización de Naciones Unidas

PCTI 2030: Plan de Ciencia, Tecnología e Innovación Euskadi 2030

PEV: PlugIn Electric Vehicle (Vehículo Eléctrico Recargable)

PLC: Power Line Communications (comunicaciones mediante línea de potencia)

PMU: Phasor Measurement Units (Unidades de Medición Fasorial)

PNIEC: Plan Nacional Integrado de Energía y Clima

PON: Passive Optical Network (Red Óptica Pasiva)

PT: Puesta a Tierra

PYMES: Pequeñas Y Medianas Empresas

REE: Red Eléctrica de España

RIS3: Research and Innovation Smart Specialisation Strategy (Estrategia de Especialización Inteligente en Investigación e Innovación)

RT: Reactancia

RTU: Remote Terminal Unit (Unidad Terminal Remota)

RVCTI: Red Vasca de Ciencia, Tecnología e Innovación

SAI: Sistemas de Alimentación Ininterrumpida

SAS: Sistemas de Automatización de Subestaciones

SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition (Control Supervisor y Adquisición de Datos)

SEPEC: Sistema de Eliminación de Perturbaciones Eléctricas Cortas

SIPCO: Sistema Integrado de Protección y control

SMS: Smart Metering System (Sistema de Contadores Inteligente)

SoC-e: System-on-Chip engineering

STAR: Sistema de Telegestión y Automatización de la Red

T&D: Transmisión y Distribución

TEIC: Tecnologías de Electrónica, Información y Comunicación

TIC: Tecnologías de la Información y la Comunicación

TSO: Transmission System Operator (Gestor de Red de Transporte)

UPV/EHU: Universidad del País Vasco/ Euskal Herriko Unibertsitatea

V2B Vehicle to Building (del vehículo al edificio)

V2G: Vehicle to *Grid* (del vehículo a la red)

V2H Vehicle to Home (del vehículo al hogar)

VE: Vehículo Eléctrico

VPP: Virtual Power Plants

WAMS: Wide-Area Monitoring Systems

WAAPCA: Wide-Area Adaptative Protection, Control and Automation

WASA: Wide-Area Situational Awareness

WAN: Wide Area Network (Red de Área Amplia o Extendida)

WiMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access (Red de Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas)

XR: Cross Reality (Realidad Extendida)

1. INTRODUCCIÓN

La transformación acelerada que está atravesando actualmente el mercado energético a nivel mundial es única en la historia y sin lugar a duda marca el fin de la hegemonía de los combustibles fósiles. El desarrollo de nuevos modelos de consumo, propiciado por el cambio climático y la crisis energética, exige fuentes de energía cada vez más eficientes y limpias.

Es evidente que, al menos durante las próximas décadas, coexistirán los sistemas de combustibles fósiles y los sistemas de energías limpias en expansión. En su informe “*World Energy Outlook 2022*” [1], la Agencia Internacional de la Energía (IEA) señala que, durante la transición energética, es vital que ambos sistemas funcionen de manera eficiente con el fin de cubrir la demanda de energía que los consumidores reclaman, aunque sus respectivas contribuciones se modifiquen con el tiempo.

En los últimos años, el sistema eléctrico a nivel mundial, europeo, nacional y local ha aumentado exponencialmente su capacidad de generación energética renovable, de carácter distribuido, a través de la implementación de nuevas políticas de inversión en energías limpias mediante fuentes instaladas cerca de los puntos de consumo.

A nivel estatal, como resultado del desarrollo del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030 [2], se pretende lograr que las energías renovables representen el 42% del uso final de energía en 2030 gracias a la fuerte inversión prevista, así como a la disminución en el consumo final de energía en diferentes sectores electrointensivos.

Adicionalmente, se espera que la generación distribuida, la gestión de la demanda y el crecimiento de las comunidades energéticas locales e industriales incrementen la diversidad de actores y la existencia de proyectos participativos, donde los ciudadanos tengan un papel activo en la generación de energía renovable [1].

Acotando la zona de actuación a nivel autonómico, la Estrategia Energética de Euskadi 2030 (3E2020) [3] se plantea como vía de alcance de un sistema energético cada vez más sostenible en términos de competitividad, seguridad del suministro y bajo en carbono.

Algunos de los objetivos que Euskadi se ha fijado para el año 2030 son alcanzar una cuota de renovables en el consumo final de energía del 21%, así como aumentar la

participación de la cogeneración y las renovables para la generación eléctrica, de forma que representen el 40% del mix energético en el 2030.

En este contexto de ambiciosas políticas públicas que persiguen una generación energética más equilibrada y sostenible, la IEA considera prioritario mantener la seguridad del suministro eléctrico en los sistemas energéticos del futuro [3]. Esto exigirá nuevas herramientas, enfoques más flexibles y mecanismos que sean capaces de solventar los nuevos retos que surgen en la descentralización de las redes eléctricas.

Para garantizar la capacidad del sistema, los generadores de electricidad deberán ser más ágiles, los consumidores tendrán que estar más conectados y ser más adaptables, y la infraestructura de la red se verá reforzada y digitalizada, con el objetivo de satisfacer una demanda eléctrica en constante crecimiento.

Aquí es donde entran en juego las redes inteligentes o *Smart Grids* que, como se verá a lo largo de los diferentes apartados del presente trabajo, serán las encargadas de gestionar los nuevos procesos de transporte y distribución de manera eficiente al combinar la automatización y el control con la digitalización y la inteligencia artificial.

2. CLUSTER DE ENERGÍA

Este Trabajo Fin de Máster se realiza en base a la experiencia y las necesidades del Cluster de Energía del País Vasco (ACE), una asociación sin ánimo de lucro fundada en 1996 en el marco de la política del Gobierno Vasco de impulso a la competitividad del tejido industrial [4].

Por definición, un clúster está constituido por un grupo de empresas e instituciones interrelacionadas y concentradas geográficamente, que compiten en un mismo negocio. Generalmente se incluye a empresas situadas en varios escalones de la cadena de valor, compañías productoras de bienes y servicios complementarios e instituciones y organizaciones relacionadas (universidades, centros de investigación, agencias gubernamentales, ...) [5].

En la actualidad, el Cluster de Energía del País Vasco integra a más de 200 empresas y entidades, entre las que se distinguen operadores energéticos, fabricantes de equipos y componentes, ingenierías, empresas de servicios, así como agentes de la RVCTI y entidades públicas del Gobierno Vasco.

La existencia de esta asociación queda plenamente justificada si se observa el valor del sector energético vasco en cifras. Concretamente, la actividad energética en Euskadi comprende una facturación de 14.111 M€ anuales, dando empleo a más de 23.500 personas. Además, este sector cuenta con una fuerte inversión en I+D: 242 M € generados a través del trabajo de unas 2.500 personas.

El Cluster de Energía del País Vasco ofrece diferentes servicios a las empresas y organismos asociados, en función de su tipología:

PYMES

A través de ACE, las PYMES vascas adquieren acceso directo con empresas tractoras y grandes empresas, logrando conocer sus demandas, necesidades y planes. Asimismo, entran en contacto con potenciales socios y/o colaboradores, con la posibilidad de participación en proyectos de I+D con grandes empresas, agentes de conocimiento y otras PYMES, no solo en el ámbito local sino también a escala internacional. Estas compañías adquieren voz en la definición y configuración de Iniciativas Estratégicas

(IEs) del ámbito energético y acceden a recursos relevantes: programas de I+D, estudios de mercado, noticias del sector, ...

Empresas grandes

Las empresas grandes del País Vasco, es decir, aquellas que cuentan con más de 250 trabajadores, acceden a través del Cluster de Energía del País Vasco a un entorno empresarial innovador y competitivo de compañías proveedoras y/o potenciales colaboradoras. Esto les permite obtener ideas innovadoras y propuestas de mejora por parte de *startups* y PYMEs con experiencia y capacidad tecnológica. De igual forma, cuentan la posibilidad de participar en programas de I+D colaborativos, en el desarrollo de IEs, en el contacto con potenciales clientes y/o socios a nivel internacional, etc.

Empresas tractoras

ACE facilita a las empresas tractoras (aquellas compañías que fomentan el crecimiento y el desarrollo económico del País Vasco) el acceso al resto de empresas proveedoras innovadoras y competitivas de la zona, brindándoles la oportunidad de contribuir a las políticas y estrategias del Gobierno Vasco. Igualmente, las grandes firmas cuentan con las propuestas de *startups* y PYMES, la posibilidad de promocionar IEs, el apoyo en el despliegue internacional y la asistencia a cursos y ponencias de expertos internacionales, entre otros servicios.

Agentes de conocimiento

Los diferentes agentes de conocimiento establecidos en Euskadi acceden al contacto con potenciales socios y/o colaboradores gracias al Cluster de Energía, que también se encarga de visibilizar su labor y brindarles su apoyo ante las administraciones y la sociedad. Igualmente, este colectivo puede participación en GTs para definir y configurar proyectos I+D en colaboración e IEs, participar en misiones y ferias internacionales con empresas vascas, conocer las demandas de talento, cualificación y formación de las empresas, etc.

Gobierno Vasco

Finalmente, el Cluster de Energía incluye un servicio relevante al Gobierno Vasco en la medida en que contribuye a la definición de políticas y estrategias tecnológicas, industriales y energéticas y se establece como canal permanentes para la comunicación

e interacción con las empresas, logrando una intermediación entre la oferta y la demanda tecnológica. A través de ACE, el Gobierno Vasco impulsa y coordina diferentes actuaciones alineadas con las políticas del Gobierno: PCTI 2030, RIS3, Internacionalización, Estrategia Energética, etc., además de visibilizar el desarrollo y cumplimiento de las políticas públicas ante la sociedad y de posicionar el País Vasco a nivel europeo e internacional, entre otras actividades.

El Cluster de Energía está formado por la asamblea de asociados y la junta directiva. El primer agente mencionado, la asamblea de asociados, está integrada por las empresas adscritas a ACE y expresa la voluntad de estos. Entre otras facultades, se encarga de examinar y aprobar las cuentas anuales de cada ejercicio y el presupuesto del ejercicio siguiente, elegir a los miembros de la junta directiva, o la aprobar las cuotas anuales de los asociados.

Por otra parte, la junta directiva (Figura 1) gestiona y representa los intereses de ACE en base a las disposiciones de la Asamblea General.

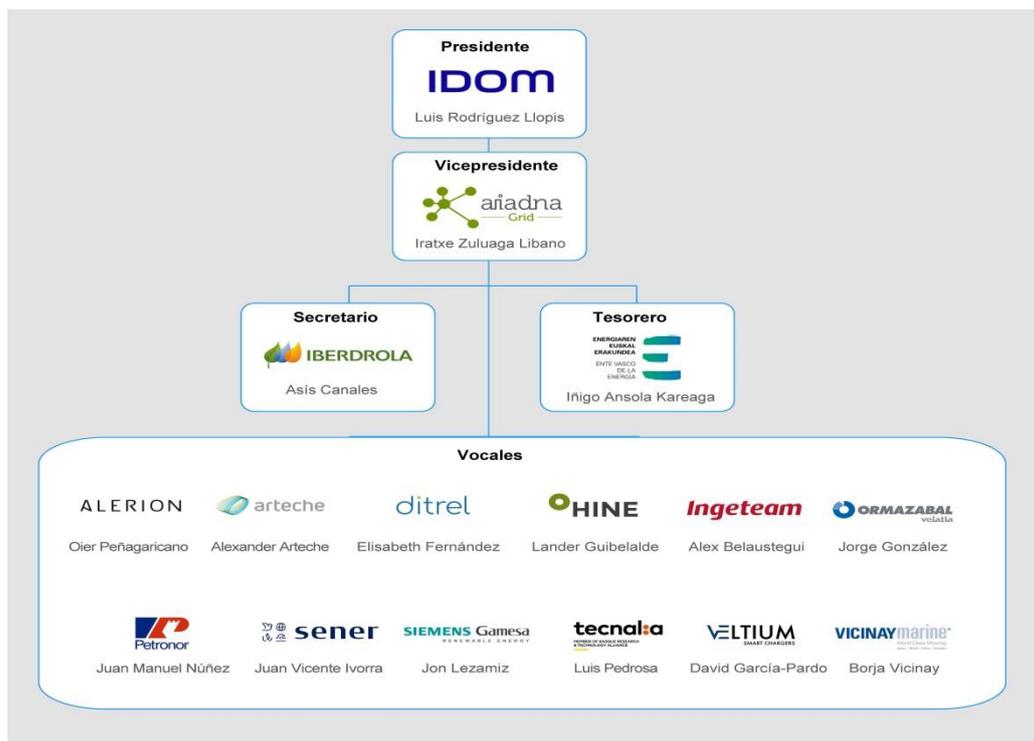


Figura 1. Junta Directiva de la Asociación Cluster de Energía [4]

Las Redes Eléctricas Inteligentes son una de las Áreas Estratégicas en torno a las cuales se despliega el Plan Estratégico de ACE, cuyo objetivo es situar al País Vasco como referente mundial en *Smart Grids*.

Tal y como se verá en profundidad en el apartado 9.: “CADENA DE VALOR DE LAS REDES ELÉCTRICAS EN EL PAÍS VASCO”, Euskadi cuenta con un fuerte sector industrial proveedor de productos y servicios eléctricos de alto valor añadido, integrado por empresas que diseñan, fabrican, instalan y mantienen los equipos y dispositivos que conforman las redes eléctricas. Partiendo de las capacidades existentes, el Cluster de Energía trabaja para reforzar la presencia internacional de las compañías de este sector, mejorando su posicionamiento competitivo en este ámbito a través de la marca “*Smart Grids Basque Country*” (Figura 2).



Figura 2. *Smart Grids Basque Country* [4]

En este sentido, ACE se encuentra en pleno despliegue de su nuevo Plan Estratégico para los próximos años (2023-2026) y desea actualizar la cadena de valor de empresas eléctricas del País Vasco elaborada con anterioridad. Esta nueva confección de la cadena de valor de *Smart Grids* de Euskadi se presentará como resultado en el presente Trabajo Fin de Máster.

3. CONTEXTO

Según la plataforma “Energía y Sociedad”, nacida de la colaboración académica entre la actual Escuela de Ingeniería de Bilbao y la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid, la red inteligente o *Smart Grid* se define como “una red que integra de manera inteligente las acciones de los usuarios que se encuentran conectados a ella -generadores, consumidores y aquellos que son ambas cosas a la vez-, con el fin de conseguir un suministro eléctrico, seguro y sostenible” [6].

La principal diferencia respecto a las redes eléctricas tradicionales es que las *Smart Grids* están integradas con Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC). Esto les permite recopilar y analizar datos, optimizar los niveles de consumo eléctrico, y detectar en tiempo real cualquier problema que se presente en las redes de distribución de energía, cuya definición se incluye posteriormente, en el apartado 6: “ESTADO DEL ARTE”. Asimismo, el acceso a la información de la red constituye una herramienta útil para tomar decisiones sobre el uso de la energía (acceso a datos como la electricidad consumida, el periodo de utilización y el coste a tiempo real).

Las redes inteligentes favorecen la integración en la red de sistemas de generación de energía variados en cuanto a tamaño e instalaciones, como se observa en la Figura 3. Son capaces de adaptarse a la generación de tipo residencial, la generación distribuida y al almacenamiento energético, lo que repercute en una reducción del impacto ambiental del suministro del sistema eléctrico.

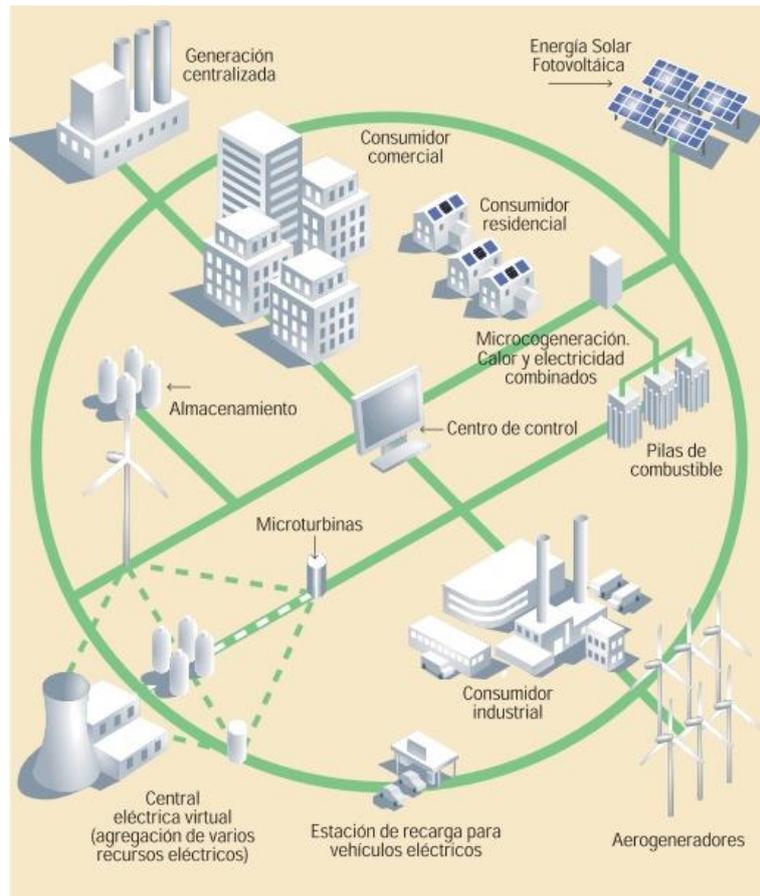


Figura 3. Red eléctrica inteligente [7]

De esta forma surge una relación bidireccional entre los generadores y consumidores de energía eléctrica, tanto por la transmisión de datos de consumo como por la posibilidad de que los particulares generen y descarguen energía a la red a través de sistemas de autoconsumo. Precisamente este aspecto es interesante en la medida en que posibilita la integración de los sistemas de generación de energía renovable a la red eléctrica, como la energía solar fotovoltaica o la eólica, de forma que los picos de demanda se puedan satisfacer con mayor facilidad, equilibrando la oferta y la demanda de energía, evitando las sobrecargas en las redes de distribución y reduciendo los vertidos de excedentes en instalaciones de autoconsumo.

Otro elemento importante a tener en cuenta es que las *Smart Grids* son capaces de proporcionar altos niveles de seguridad gracias a la medición y transmisión continua de datos, con lo que pueden alertar de problemas con antelación, incluso antes de producirse. Esta característica permitiría reconfigurar la red eléctrica de manera inmediata, evitando interrupciones y/o cortes de suministro.

Con el fin de llevar a cabo dicho control y seguimiento continuo sobre todos los procesos dentro de su alcance, las *Smart Grids* emplean componentes tecnológicos digitales que trabajan de forma coordinada para garantizar un suministro de energía eléctrica más eficiente, como medidores inteligentes, redes de comunicaciones y sistemas de gestión y almacenamiento de energía.

Para su correcta puesta en marcha en el mercado, las redes eléctricas inteligentes deben ser capaces de alcanzar los siguientes objetivos [6]:

- Fortalecer y automatizar la red, perfeccionando las operaciones, cumpliendo y superando los índices de calidad y minimizando las pérdidas.
- Maximizar la conexión de las áreas con fuentes de energía renovable, optimizando las capacidades de conexión y reduciendo los costes.
- Implementar arquitecturas de generación descentralizadas, posibilitando la adopción de instalaciones de menor tamaño. A través de esta generación distribuida se reducen las pérdidas en la red eléctrica (redes de transporte más cortas, cerca del consumidor) y se mejora la fiabilidad y la calidad del sistema eléctrico, dado que, al tratarse de microgeneración, el fallo de una de las fuentes no supone un grave problema para el sistema [7].
- Aumentar la integración de la generación intermitente y de nuevas tecnologías de almacenamiento.
- Facilitar el desarrollo del mercado eléctrico ofreciendo nuevas funcionalidades y servicios tanto a las empresas comercializadores como a los consumidores finales.
- Gestionar de forma activa la demanda, logrando que los consumidores manejen de forma eficiente sus consumos, mejorando de esta manera la eficiencia energética en conjunto.
- Favorecer la penetración del vehículo eléctrico a mayor escala, ajustando nuevas cargas móviles y dispersas en la red, minimizando el desarrollo de nueva infraestructura y habilitando las funcionalidades de almacenamiento de energía existentes.

A pesar de sus numerosas ventajas frente a la red eléctrica convencional, las *Smart Grids* también presentan una serie de barreras y limitaciones a las que deben enfrentarse [6]:

- La ausencia de tecnologías estándares y suficientemente maduras supone un elevado riesgo de inversión para las empresas, que consideran que los costes finales de transformación de la red podrían ser más elevados que los teóricos.
- Los elevados costes de inversión y operación, sin presencia de economías de escala y con beneficios difícilmente cuantificables en términos económicos, no pueden competir con las redes convencionales actuales.
- La normativa vigente plantea limitaciones al imponer barreras técnicas y no generar incentivos suficientes para la inversión.
- La seguridad y privacidad de los datos y el manejo de información sensible es un punto débil del sistema al ser susceptible de ataques informáticos externos o de usos inadecuados que podrían causar graves daños.

Más detalle sobre el alcance y el funcionamiento de las redes eléctricas inteligentes se desarrolla posteriormente, en los apartados 4: “OBJETIVOS Y ALCANCE” y 6: “ESTADO DEL ARTE”.

4. OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo de este Trabajo Fin de Máster (TFM) es, por un lado, elaborar una nueva cadena de valor de las redes eléctricas inteligentes en el País Vasco para ACE, tras haber analizado el desarrollo del sector hasta la fecha y el creciente impacto transformador que las tecnologías digitales están ejerciendo en él; y, por otro lado, proponer actuaciones para ACE con el fin de actualizar su catálogo de *Smart Grids* y así poder procurar un mejor servicio hacia las compañías y organismos asociados del sector de bienes y equipos eléctricos en relación a actividades y tecnologías ligadas a la digitalización. En concreto, los objetivos más destacables de este Trabajo Fin de Máster son los siguientes:

- Examinar el estado actual de las redes eléctricas inteligentes en el País Vasco.
- Analizar la arquitectura de las Smart Grids, detallando qué tecnologías digitales se están incorporando a los sistemas, equipos y dispositivos eléctricos y electrónicos tradicionales.
- Determinar cuál es el papel que cumplen las *Smart Grids* en la transición energética.
- Identificar oportunidades de negocio para las empresas vascas del sector de redes eléctricas que contribuyan al correcto desarrollo de las *Smart Grids*.
- Reconocer cuáles son las fortalezas del sector de redes eléctricas del País Vasco en la actualidad y qué nuevos segmentos de negocio se están impulsando en la cadena de valor de *Smart Grids* gracias al desarrollo de las tecnologías digitales
- Definir propuestas de mejora en el papel de ACE para impulsar el sector de *Smart Grids* en el País Vasco.

Antes de comenzar con el análisis de mercado de las redes eléctricas inteligentes, es necesario conocer el alcance del trabajo, es decir, es preciso establecer los límites del estudio tecnológico a desarrollar.

El presente trabajo incluirá una propuesta de posicionamiento del Cluster en el ámbito de las *Smart Grids* de cara a los próximos años, presentando una nueva cadena de valor de redes eléctricas inteligentes en base a la ya existente, que se comentará en detalle en el apartado 9: “CADENA DE VALOR DE LAS REDES ELÉCTRICAS EN EL PAÍS

VASCO”. A través del análisis del sector y de una mirada con perspectiva a futuro, se presentarán una serie de novedades o cambios que están teniendo lugar o que es posible que se implementen próximamente, por lo que conviene tenerlos en cuenta en el Plan Estratégico de ACE. El trabajo se centrará en la elaboración de recomendaciones para el Cluster de Energía del País Vasco, valorando oportunidades de negocio para las empresas eléctricas en Euskadi, pero sin entrar en detalle en cada una de las necesidades de las compañías.

5. METODOLOGÍA

En este apartado se detalla la metodología seguida para la realización de una propuesta de nueva cadena de valor de redes eléctricas inteligentes en Euskadi para el Cluster de Energía del País Vasco.

El Trabajo Fin de Máster se ha realizado a lo largo de cuatro fases diferenciadas, que se presentan a continuación (Figura 4):



Figura 4. Fases de actuación del TFM. Fuente: Elaboración propia (2023)

La primera fase incluye el análisis y la comprensión de la tecnología a tratar, las *Smart Grids*, incurriendo en su relevancia tecnológica en la transición energética y la importancia de su despliegue a gran escala.

Seguidamente, en la Fase 2, se lleva a cabo una tarea exhaustiva de recopilación de información en torno al desarrollo del mercado de bienes, equipos y servicios eléctricos, haciendo hincapié en su arquitectura y en las diferentes tecnologías complementarias.

Con el apoyo de la cadena de valor ya existente del Cluster de Energía, se describen de forma breve y precisa cada uno de los agentes que forman parte de este cuadro a escala autonómica en la Fase 3 del trabajo.

A partir ahí se realizan propuestas de mejora en la Fase 4, trabajando hacia la creación de una nueva cadena de valor de *Smart Grids* de Euskadi donde se tengan en cuenta las últimas novedades y actualizaciones del sector.

6. ESTADO DEL ARTE

En este apartado se detalla el estado del arte de la red eléctrica, previo al desarrollo de la nueva cadena de valor de las redes eléctricas en el País Vasco y la localización de recomendaciones a futuro para el Cluster de Energía.

Se comenzará por la descripción esquemática del funcionamiento de la red eléctrica nacional en la actualidad, incidiendo en cada uno de sus elementos. Se analizarán las causas por las cuáles la red convencional se está quedando obsoleta y se mostrará hasta qué punto las *Smart Grids* son la evolución lógica de este sistema.

6.1 Red eléctrica convencional

Según el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, “el suministro de energía eléctrica se define como la entrega de energía a través de las redes de transporte y distribución” [8] a cambio de una contraprestación económica.

Actualmente es la red eléctrica convencional o tradicional la que cumple la función de suministrar energía eléctrica a los diferentes tipos de consumidores del país, cuyo esquema básico se puede observar en la Figura 5.

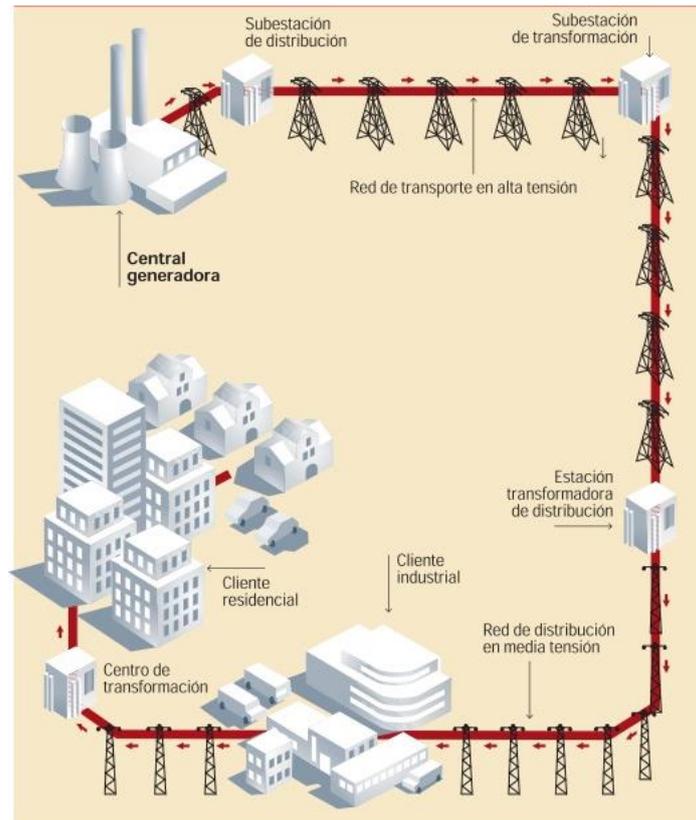


Figura 5. Sistema de generación convencional [9]

Este sistema lo conforman las actividades de generación, transporte, distribución y comercialización, además de las tareas de control, seguridad y protección. A continuación, se procede a entrar en detalle en cada uno de estos elementos indispensables del sistema eléctrico.

Generación:

El primer paso consiste en la producción de energía en centrales eléctricas a partir de diferentes fuentes, que pueden ser de carácter no renovable o renovable.

Las primeras se caracterizan por ser centrales de gran tamaño que llevan a cabo transformaciones en la energía contenida en los combustibles fósiles (carbón, gas natural y petróleo), así como en combustibles nucleares, de forma centralizada, en emplazamientos cercanos a fuentes de agua, y generalmente alejados de núcleos urbanos. La concentración en la naturaleza de los combustibles fósiles es limitada pero su uso a nivel global es predominante y su afectación a la atmósfera terrestre es muy perjudicial, por lo que se debe reducir su uso.

Por otra parte, las fuentes de energía renovable pueden ser de tipo solar fotovoltaica, termosolar, geotérmica, eólica *onshore* y *offshore*, hidráulica, de biomasa, energía de las

olas, ... Su implantación es de carácter distribuido y habitualmente las centrales son de menor tamaño.

En el sistema actual la energía se debe consumir en el momento en el que se produce, lo que implica que la generación debe igualar al consumo eléctrico en todo momento. Para alcanzar esta sincronización, se emplean centros de control eléctrico, encargados de operar de forma coordinada en tiempo real las instalaciones de generación y de transporte del sistema eléctrico. Con la información que reciben de las subestaciones, estos sistemas comprueban el funcionamiento del sistema eléctrico y son capaces de modificar o corregir la carga.

Una vez generada la electricidad, se incrementa su tensión en las estaciones transformadoras elevadoras a la salida de las centrales generadoras (Figura 6) con el fin de reducir las pérdidas en el transporte.

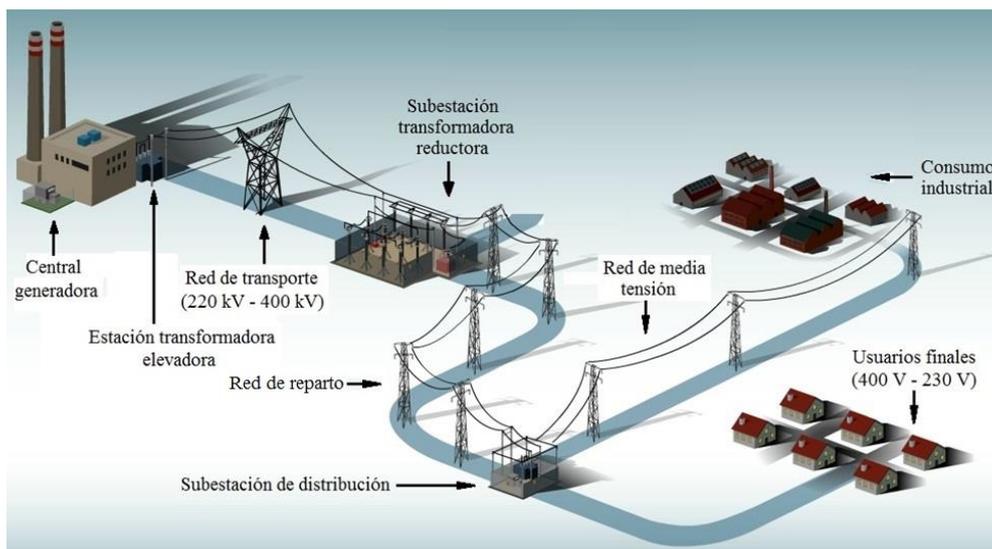


Figura 6. Constitución de los Sistemas Eléctricos [10]

Transporte:

Seguidamente, la electricidad viaja largas distancias a través de la red de transporte, que se encarga de unir las centrales con la red de distribución a través de un medio físico: la red de alta tensión. Esta consta de un elemento conductor (cables de cobre o aluminio), un elemento de apoyo (torres de alta tensión) y un cable de protección a tierra, como muestra la Figura 7.

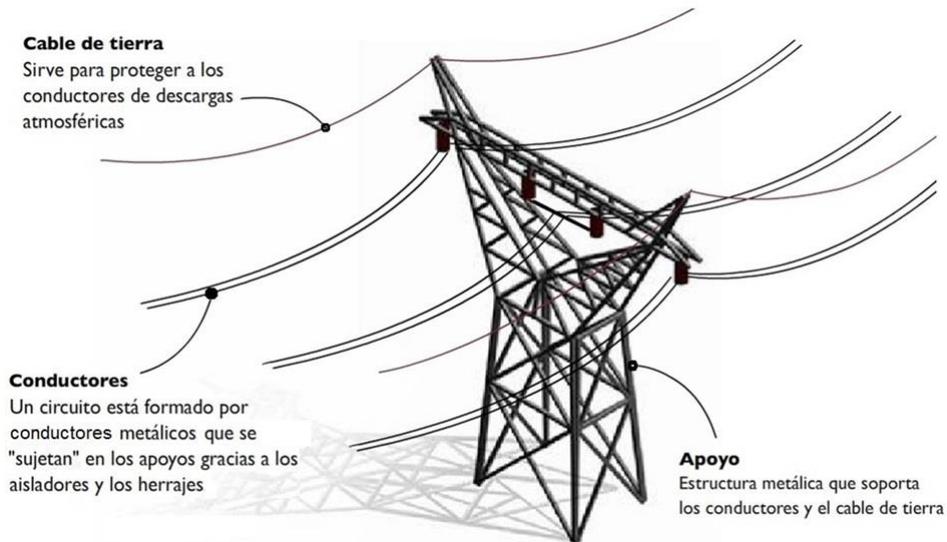


Figura 7. Línea eléctrica de transporte [10]

La red de transporte está compuesta por la red de transporte primario (instalaciones de tensión mayor o igual a 380 kV) y la red de transporte secundario (hasta 220 kV) [8].

Distribución:

A continuación, la red de distribución transmite la energía eléctrica desde las redes de transporte, desde otras redes de distribución, o desde la generación conectada a la propia red de distribución, hasta los puntos de consumo u otras redes de distribución, con el propósito final de alcanzar un suministro eléctrico final de calidad para los consumidores.

Se pueden distinguir varios subniveles dentro de la red de distribución [10]:

- Subestaciones transformadoras reductoras: se ubican en emplazamientos cercanos a grandes centros de consumo y su misión es reducir la tensión desde el nivel de transporte (habitualmente 220 kV o 400 kV) a un nivel inferior (25 – 132 kV), como se observa en la Figura 8.

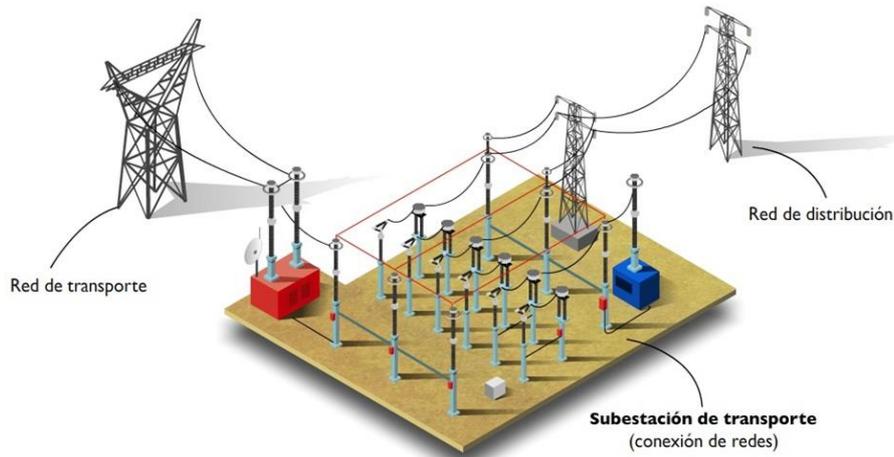


Figura 8. Subestaciones transformadoras reductoras [10]

- Redes de reparto o de distribución: conectan las subestaciones transformadoras reductoras con las subestaciones transformadoras de distribución. Sus niveles de tensión se encuentran entre los 25 kV y los 132 kV.
- Subestaciones transformadoras de distribución: en estas instalaciones se reduce la tensión hasta alcanzar un nivel óptimo para la distribución. Además, en ocasiones actúan como nodo de interconexión entre varias líneas eléctricas.
- Red de distribución en media tensión: es el conjunto de líneas eléctricas con origen en las subestaciones transformadoras de distribución y destino en los centros consumidores de media tensión o en centros de transformación.
- Centros de transformación: La función de las instalaciones que se muestran en la Figura 9 es recibir la tensión de la red de distribución en alta tensión (30 kV) o media tensión (10, 15 o 20 kV) y reducirla a MT (en caso de haber recibido AT) o a MT y BT (400 V en trifásica o 230 V en monofásica).

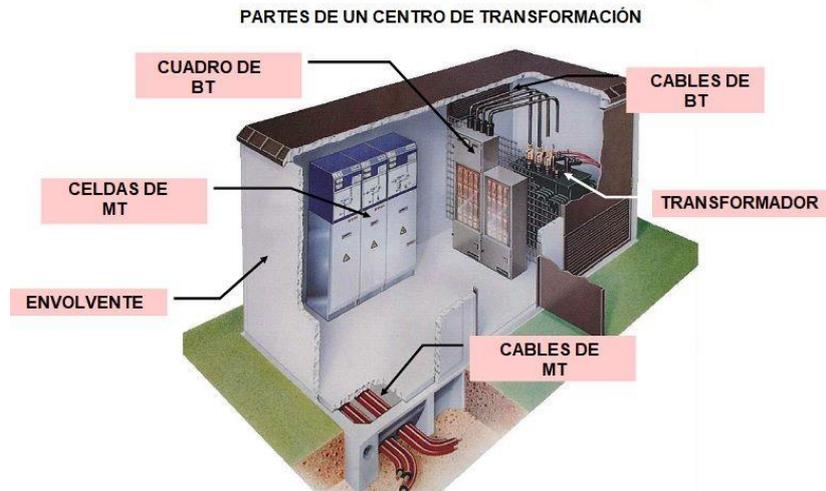


Figura 9. Centros de transformación [11]

- Red de distribución en baja tensión: la conforman el conjunto de líneas eléctricas que conectan los centros de transformación con las acometidas eléctricas de los usuarios finales.

Comercialización:

Finalmente, la actividad de comercialización es desarrollada por compañías que acceden a las redes de transporte y/o distribución con el objetivo de poner la electricidad en venta, a disposición de los consumidores.

6.2 Evolución a las *Smart Grids*

A día de hoy, el sistema eléctrico internacional aún es de tipo convencional, con redes envejecidas y distribuidas en un sistema jerárquico, donde al suministro energético le corresponde el nivel inferior y la generación de energía eléctrica se sitúa en el nivel más alto. El aumento sostenido de la demanda energética en las últimas décadas, unido a la falta de inversión en nuevas infraestructuras y en la renovación de las existentes, ha causado inestabilidad en el sistema eléctrico. Esto es un hecho a tener en cuenta, ya que ciertas irregularidades en la red de distribución o un aumento súbito en la demanda de los consumidores podrían provocar cortes en algunas zonas de la red, que es uno de los principales fallos a evitar.

Por ello es más importante que nunca comenzar el despliegue de la red eléctrica inteligente, concretamente desde la red de distribución, ya que la mayoría de las perturbaciones y cortes de energía tienen su origen en ella [12].

Las *Smart Grids*, entendidas como una combinación de diferentes tecnologías vinculadas a la comunicación y el control, suponen una evolución respecto a la red eléctrica convencional, ya que, a través de un sistema distribuido, logran aumentar la disponibilidad de la red y reducen el costo final de la energía.

Con el fin de comprender hasta qué punto presentan ventajas las redes eléctricas inteligentes frente a las convencionales, se procede a enumerar sus principales características.

Flujo bidireccional y generación distribuida

En primer lugar, las *Smart Grids* son capaces de sostener flujos de energía bidireccionales, lo cual significa que la comunicación ocurre en dos sentidos: las compañías eléctricas son capaces de enviar información a los consumidores finales y viceversa [12], promoviendo una interacción generalizada en tiempo real. Precisamente, los datos proporcionados por los usuarios se emplearían con el fin de dirigir operaciones de red más eficientes desde las compañías eléctricas. De manera complementaria, la información enviada a los consumidores finales les da acceso a nuevas prestaciones con alto valor añadido, tales como la monitorización en línea del consumo, servicio de carga de vehículo eléctrico, el equipamiento de instalaciones renovables de autoconsumo con conexión a red donde los consumidores sean a su vez proveedores de energía, etc.

Respecto a la generación distribuida, esta consiste en el uso de muchas fuentes de energía a pequeña escala cerca de los puntos de consumo, como es el caso de las energías renovables, comentado anteriormente.

En la Figura 10 se observa un esquema visual donde se aprecia la gran diferencia frente a la red convencional, que no posee comunicaciones entre los suministros y los centros de control y únicamente permite flujos unidireccionales.

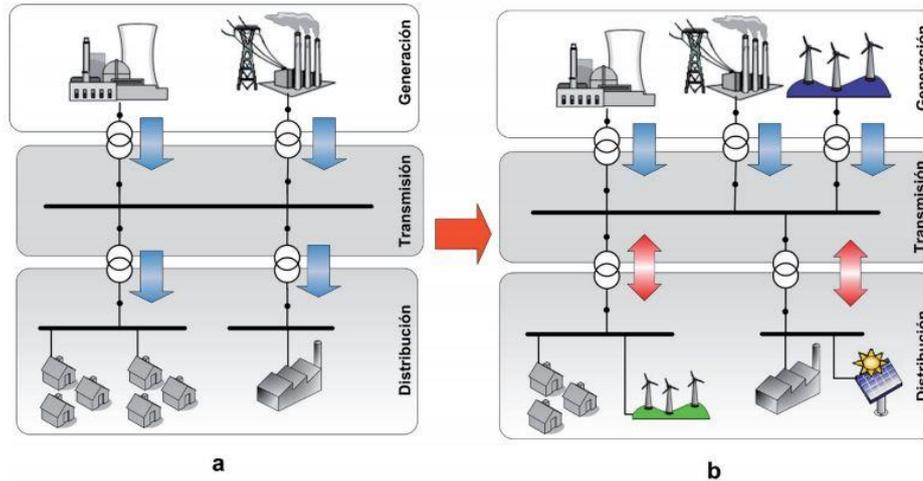


Figura 10. Sistemas de energía eléctrica tradicional (a) y de próxima generación (b).

[13]

Consumo interactivo

Unida a la primera característica se encuentra el consumo interactivo por parte del cliente final del sistema eléctrico, que mediante las redes inteligentes accede a un mayor control sobre la cantidad de energía que produce. Mediante la instalación de equipos, contadores electrónicos y sistemas de gestión automatizados que se comuniquen entre sí, el consumidor es capaz de realizar un seguimiento sobre sus hábitos de consumo, relacionar el consumo de diferentes residencias, gestionar los tramos horarios en los que desea consumir, volcar la energía excedente que genera a la propia red eléctrica, etc.

Seguridad

Respecto a la seguridad de la red, en la actualidad son frecuentes los problemas ocasionados por el envejecimiento de las infraestructuras de la red eléctrica. Es habitual que estos errores pasen desapercibidos para la compañía eléctrica, siendo los propios clientes quienes deben dar el aviso sobre las situaciones indeseadas, con las molestias y retrasos que esto conlleva. Frente a estos casos, las redes eléctricas inteligentes contarán con nuevos sistemas de protección junto con estructuras malladas en redes de distribución, capaces de notificar de potenciales problemas con antelación, logrando una reconfiguración inmediata del sistema y evitando así interrupciones y cortes a gran escala, entre otros fallos.

No menos importante es que las *Smart Grids* sean capaces de proporcionar seguridad cibernética, ya que los ataques a este tipo de infraestructura se pueden dar en forma de

accesos no autorizados e incumplimiento de sistemas de control, manipulación de datos de vigilancia, de señales de control, virus o malware con potencial daño hacia el *software*. Las redes eléctricas inteligentes, gracias a su fuerza de computación y al ancho de banda mejorado, deben ser capaces de proporcionar una defensa más sólida, asegurándose de que la energía está disponible en todo momento, pero sin perder de vista las amenazas que pueden dañar la integridad de la red y anticipándose a ellas.

Eficiencia y fiabilidad

Otro aspecto relevante de las redes eléctricas inteligentes frente a las convencionales es su eficiencia y su fiabilidad. Al hacer un uso más adecuado de la energía eléctrica, empleándola únicamente cuando sea necesaria y coordinando la generación con el consumo, se alcanza un grado de eficiencia considerable, lo que repercute en la reducción de los costes, la menor emisión de contaminantes y la disminución de riesgos de seguridad en la producción, transporte y distribución.

A través de la instalación de contadores inteligentes (en cuyo funcionamiento se profundizará en el apartado 8.2: “Tecnologías en *Smart Grids*”), los operadores de red son capaces de acceder a información valiosa, como la cantidad exacta de energía consumida en tiempo real, lo que evita procurar al tendido eléctrico más electricidad de la estrictamente necesaria.

Adicionalmente, el uso de nuevos materiales conductores y transformadores, así como diferentes tecnologías de almacenamiento energético, aumentan la fiabilidad de suministro del sistema, que al envejecer presenta más intermitencias en el suministro y desajustes en la calidad de la energía. De igual manera, el análisis continuo, ligado a la rápida asimilación de los datos recuperados en tiempo real en numerosos puntos de control, soluciona los problemas derivados del desconocimiento de las operaciones que tienen lugar en la red y la falta de equipos autómatas, que hoy en día son una causa común de interrupciones. De esta forma, se reducen los tiempos de indisponibilidad del suministro.

Energías renovables, sostenibilidad y movilidad eléctrica

Finalmente, las redes eléctricas inteligentes tendrán un papel importante en la transición energética, ya que es evidente que nos dirigimos hacia una sociedad más

descarbonizada y electrificada. En estas circunstancias, las *Smart Grids* garantizan la incorporación de más fuentes de energía renovable al mercado eléctrico, reduciendo el impacto ambiental de las centrales de generación eléctrica convencionales.

Dado de que la energía de origen renovable es de carácter distribuido e intermitente, ya que los recursos naturales como el sol, viento, etc., no se presentan de manera continua en el medio ni justo en el instante preciso en el que los consumidores los demandan, surgen complicaciones de suministro. Es aquí donde las *Smart Grids* son especialmente provechosas, ya que incorporan medios de almacenamiento energético, tecnologías de envío de información y sistemas de previsión que optimizan la operación en red y garantizan el abastecimiento.

Por otro lado, no se debe olvidar que el despliegue del vehículo eléctrico a mayor escala va de la mano del desarrollo de las redes eléctricas inteligentes. Los vehículos eléctricos no solo presentan ventajas en términos medioambientales al reducir las emisiones de GEI por el uso de energía renovable, sino que otro de sus usos potenciales es el almacenamiento de electricidad, que puede ser consumida y gestionada por las *Smart Grids*.

Mediante las tecnologías V2G (*Vehicle to Grid*, Figura 11), V2H (*Vehicle to Home*) y V2B (*Vehicle to Building*) es posible inyectar la energía almacenada en el vehículo a la red eléctrica, a la vivienda residencial o incluso a edificios e industrias, dependiendo de la franja horaria en la que nos encontremos y de la decisión que sea más adecuada en cada momento, tomada desde la *Smart Grid*. Esta gestión conlleva numerosos beneficios, tales como la venta de electricidad en horas pico y compra en horas valle, la reducción de la factura eléctrica de los hogares y la función del vehículo como usarse generador de energía de emergencia ante cortes en la red.

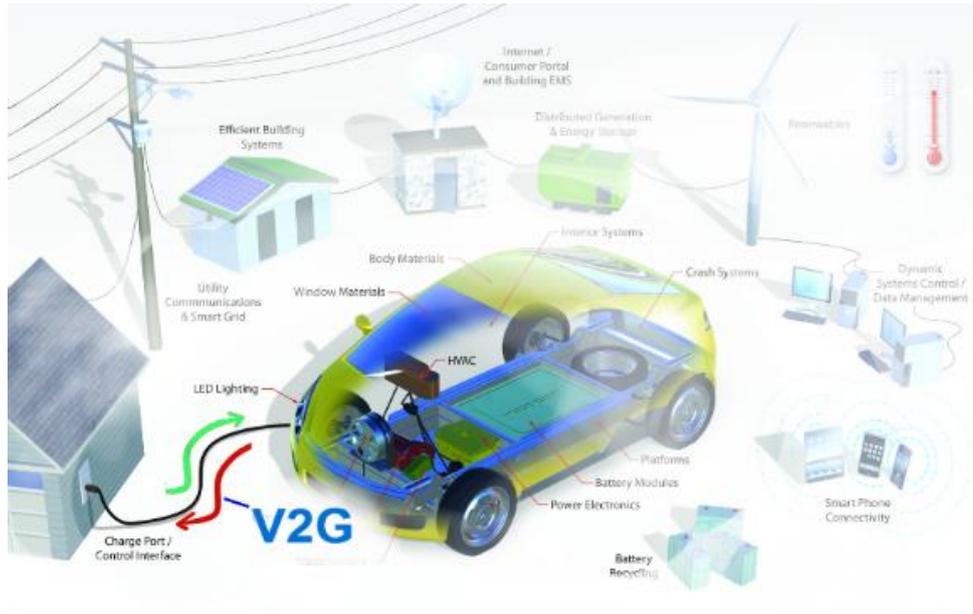


Figura 11. Tecnología V2G [14]

En la Tabla 1, a continuación, se exponen las principales diferencias halladas entre la red eléctrica convencional existente y las *Smart Grids*.

Tabla 1. Diferencias entre redes eléctricas convencionales y *Smart Grids* [15]

Característica	Red Eléctrica Convencional	<i>Smart Grid</i>
Automatización	Los elementos de monitorización son limitados, únicamente están en la red de transporte.	En todos los niveles de la red se integran de forma masiva sensores, actuadores, tecnologías de medición y esquemas de automatización.
Inteligencia y Control	Sin inteligencia, control manual.	Sistema de información inteligente y distribuido.
Autoajuste	Basado en la protección de dispositivos ante fallos del sistema.	Basado en la prevención, detecta y actúa automáticamente sobre fallos de la red, minimizando el impacto sobre el consumidor.
Participación del consumidor y tipo de generación	La participación del consumidor en la red es limitada y el flujo energético es unidireccional, con generación muy localizada.	El usuario participa en la generación energética, con posibilidad de entrega de excedentes a la red. Generación renovable distribuida y bidireccional.
Resistencia ante ataques y fiabilidad del suministro	Infraestructuras envejecidas y vulnerables, provocan fallos e interrupciones.	Resistente ante ataques gracias a protecciones adaptativas y funcionamiento en isla, con rápida capacidad

		de restablecimiento.
Gestión de la demanda	Inexistente.	Incorporación de equipos eléctricos inteligentes que se regulan en función de la disponibilidad energética y los hábitos del consumidor, ajustándose a modelos de eficiencia energética, precio y programas de operación predefinidos.
Calidad eléctrica	Se restablece la conexión tras cortes de suministro pero no se subsanan los problemas de calidad eléctrica (bajones de tensión, perturbaciones, ruido eléctrico, ...)	Es capaz de identificar y resolver problemas de calidad eléctrica. Dependiendo del tipo de cliente (industrial, residencial, etc.) propone diferentes tarifas con calidad eléctrica variada.
Vehículos eléctricos (VE)	Se están incorporando puntos de recarga eléctrica en la red pero sólo permiten la recarga de las baterías de VE.	Establece nuevas infraestructuras especializadas con sincronización de recarga y fuente de generación a partir del VE.
Capacidad de generación y almacenamiento	Grandes y escasas plantas generadoras. Difícil interconexión de recursos energéticos distribuidos.	Numerosos sistemas generadores y almacenadores de energía reemplazan a las grandes plantas generadoras y promueven la transición energética. Enfoque en EERR.
Optimización del transporte eléctrico	Baja eficiencia en el transporte provoca grandes pérdidas de energía.	Los sistemas de control inteligentes permiten coordinar y extender los servicios entre distintos agentes del mercado y mejorar la eficiencia de la capacidad de transmisión de la red.
Mercados	Ausencia de integración entre los diferentes mercados eléctricos, atascos en la transmisión.	Buena integración de los mercados y minimización de congestiones de transmisión.
Operación y mantenimiento (O&M)	Chequeo manual de equipos y medidores de energía electromecánicos.	Monitorización a distancia y medidores de energía digitales.

7. BENEFICIOS

El desarrollo de las redes eléctricas inteligentes representa una oportunidad para industria energética en conjunto, que se ve abocada a adoptar un modelo de consumo más sostenible, basado en energías renovables, para reducir el impacto sobre el medio ambiente.

Las *Smart Grids* tienen numerosos beneficios de carácter no solo energético, como se puede presuponer, sino también económico, ambiental y social. A continuación, se comentarán algunos de los beneficios en cada uno de los cuatro grandes bloques mencionados, para comprender hasta qué punto es ventajosa la implantación de esta herramienta.

7.1 Beneficios energéticos de las *Smart Grids*

Los beneficios energéticos derivados de la implementación de las redes eléctricas inteligentes son quizá los más evidentes, pero no por ello menos importantes.

Las *Smart Grids* fueron concebidas con el fin de optimizar el consumo eléctrico, a través del control de la pérdida de energía en el proceso de transmisión y distribución, una gestión de los picos de demanda con mayor eficiencia, y una disminución de la necesidad de generar energía adicional a través de centrales convencionales de energía que emplean combustibles fósiles [6].

Naturalmente, esto supone un beneficio energético considerable, ya que ayuda a reducir el consumo y a mejorar la calidad de la energía que se suministra a los consumidores, debido a la rápida resolución de problemas como la falta de voltaje o las interrupciones en la red de distribución, que se suelen presentar en las redes eléctricas tradicionales, tal y como se explicará a lo largo del Trabajo Fin de Máster.

7.2 Beneficios económicos de las *Smart Grids*

Por otra parte, el desarrollo de las *Smart Grids* conlleva cuantiosos beneficios económicos. Desde el punto de vista tecnológico, las redes eléctricas inteligentes se

despliegan con el fin de gestionar de manera inteligente el funcionamiento y rendimiento del sistema eléctrico, con lo que se ahorra una cantidad de dinero considerable, gracias al menor consumo de energía.

La implementación de estos sistemas disminuye los costes de producción y distribución de la energía eléctrica para las empresas, especialmente gracias a la labor de prevención que se realiza: la detección de problemas en tiempo real o incluso con antelación permite actuar sobre el sistema y reducir significativamente los costes asociados a reparaciones y mantenimiento. Asimismo, la automatización de una gran parte de los procesos mejora la planificación energética de las compañías [6].

El sector que más se beneficia económicamente es, lógicamente, el de fabricación de maquinaria y material eléctrico, que será el encargado de suministrar los equipos y servicios para realizar este cambio de sistema a gran escala. Otros sectores muy favorecidos son los servicios de ingeniería, consultoría y asesoramiento técnico. También las comunidades energéticas locales, industriales y los propios ciudadanos con sistemas de autoconsumo en sus viviendas se beneficiarían de las *Smart Grids*, ya que conllevarían una reducción de la factura eléctrica.

7.3 Beneficios ambientales de las *Smart Grids*

No se deben olvidar los beneficios ambientales de las redes eléctricas inteligentes, que se erigen como columna vertebral de la transición energética. La implementación de esta tecnología permite reducir el impacto ambiental al reducir el consumo eléctrico mediante la monitorización de datos y el conocimiento de los hábitos del consumidor. De esta forma, se evitan vertidos de excedentes a la vez que se integran al sistema eléctrico fuentes de energía renovable de carácter distribuido.

Estos factores sirven para limitar las emisiones de los contaminantes que se generan en la producción convencional de energía, ya que se produce aquello que se consume y el sistema es capaz de almacenar energía para cuando se requiera [6].

7.4 Beneficios sociales de las *Smart Grids*

Respecto a los beneficios sociales de las *Smart Grids*, estos están muy relacionados con los ambientales y los económicos.

En primer lugar, al reducir las emisiones de CO₂, mejoran los ecosistemas y la salud de las personas. Se debe tener en cuenta que este GEI es el principal contribuyente al calentamiento global, que está provocando un cambio climático de tipo antropogénico a gran escala. El aumento exponencial de la concentración de este gas en la atmósfera a lo largo de las últimas décadas va unido a múltiples riesgos e impactos, tales como la disminución del agua potable, subidas del nivel del mar, aumento de sequías y huracanes, extinción de especies, la desaparición de ecosistemas enteros, problemas de abastecimiento y pérdidas de cosechas por la escasez de lluvia... Por todo ello, su reducción a corto plazo es de suma importancia.

Seguidamente, la implementación de los diferentes dispositivos digitales y eléctricos actuaría como palanca impulsora de empleo, al bajar el paro mejoraría la economía del país y, por lo tanto, la calidad de vida de los individuos.

Poniendo el foco en beneficios más tangibles e inmediatos, se puede decir que las redes eléctricas inteligentes tendrían un efecto muy positivo en la factura energética de los hogares, abaratándola gracias al control y a la consecuente reducción del consumo energético

En resumen, el buen uso y la gestión adecuada de la energía eléctrica permitirían una distribución de recursos y riqueza más equitativa, reduciendo los desequilibrios. Es por ello por lo que, incentivar la sostenibilidad a través de esta herramienta, forzosamente unida a las energías renovables, es el camino a seguir para mejorar el bienestar de las personas y lograr un acceso universal a la energía en todo el mundo.

8. ARQUITECTURA Y ELEMENTOS DE LAS SMART GRIDS

En esta primera toma de contacto con las redes eléctricas inteligentes se ha destacado la importancia de la comunicación bidireccional, así como de la gestión eficiente de la demanda en tiempo real, empleando medidores integrados en el sistema eléctrico.

La primera técnica de que surgió para solventar esta área (y donde se concentran las inversiones más recientes en infraestructuras) fue la tecnología AMR (*Automatic Meter Reading*), es decir, la lectura automática de contadores, con sistemas de medida automatizada [16]. Este sistema pondera el consumo de los diferentes usuarios a distancia y obtiene datos como el estado de los locales de los consumidores, las alarmas y los registros de consumo, de manera remota, presentando eficiencias mayores que los medidores electromecánicos. Sin embargo, su punto débil es la incapacidad de establecer comunicaciones bidireccionales entre agentes, por lo que su uso no es adecuado para la gestión de la demanda en redes eléctricas inteligentes, ya que se orienta únicamente a la lectura de datos.

La Figura 12 visibiliza como, a raíz de este nicho de mercado, surge la Infraestructura de Medición Avanzada (AMI, *Advanced Metering Infrastructure*), que consiste en un sistema de comunicación bidireccional. A través de él, los contadores inteligentes y otros dispositivos de gestión de energía son capaces de gestionar de forma activa la demanda al (des)conectar servicios a distancia, registrar formas de onda, monitorizar diferentes parámetros, como tensión y corriente, y brindar información en tiempo real de la demanda energética de los consumidores [17].

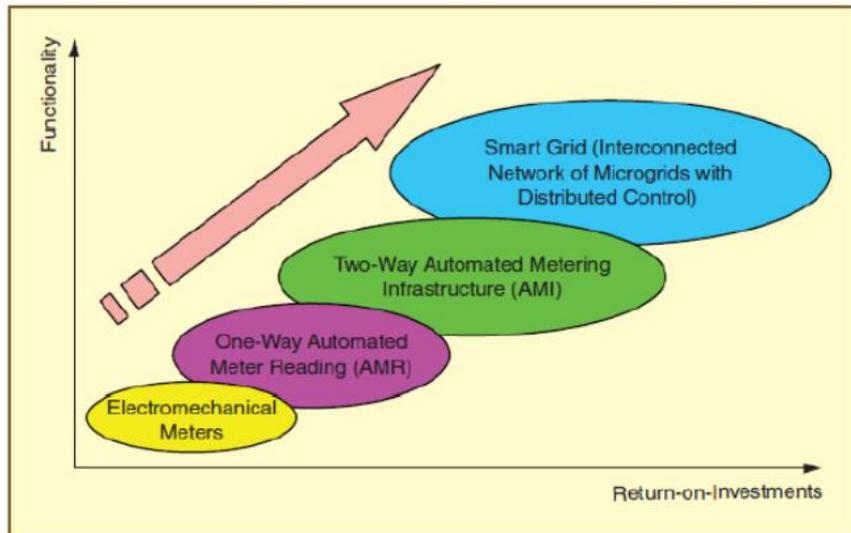


Figura 12. Evolución de los sistemas de medición [18]

Como muestra la Figura 13, la tecnología AMI está compuesta de dispositivos de medida (*Smart Meters*), concentradores de datos y un sistema de gestión de datos de medida. Este último se encarga de recopilar datos de los centros de distribución y los organiza en una base de datos. Por su parte, los contadores acumulan datos de medición que posteriormente envían al sistema de gestión de datos de medida [19].

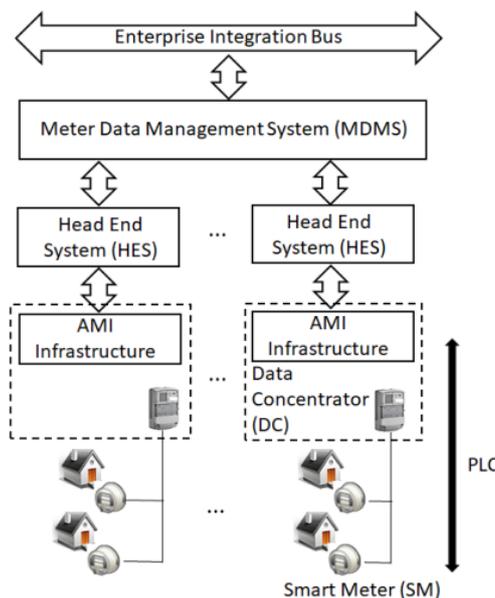


Figura 13. Infraestructura de Medición Avanzada [20]

Como muestra la Figura 14, en las redes eléctricas se pueden distinguir dos niveles principales: el de energía y el de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC).

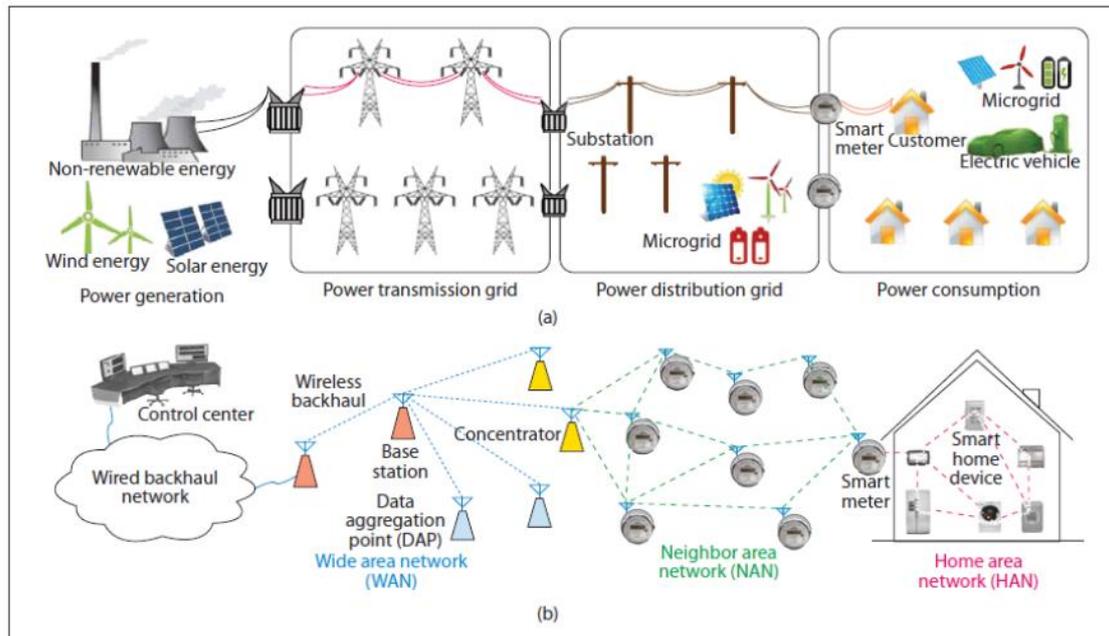


Figura 14. Arquitectura básica de las *Smart Grids* [21]

En el nivel de energía es posible distinguir las etapas de generación, transporte, distribución y consumo, comentadas anteriormente en el apartado 6: “ESTADO DEL ARTE”. Cabe destacar la doble vía de generación representada en la Figura 14: por un lado, la generación no renovable y por otro lado, la penetración cada vez mayor de energía renovable de carácter distribuido.

El otro aspecto relevante, a nivel de arquitectura de comunicaciones, muestra la combinación de una gran variedad de tecnologías que trabajan con grandes cantidades de datos, provenientes de sensores y de todas las aplicaciones y/o dispositivos interconectados en la misma, que se verán a lo largo del documento. Se trata de un sistema ciberfísico, donde se procesa gran cantidad de datos provenientes de los contadores inteligentes.

Esta infraestructura de comunicación debe cumplir ciertos requisitos de latencia, fiabilidad, escalabilidad, seguridad, interoperabilidad y ubicuidad [22], conceptos que se definen de la siguiente forma:

- Escalabilidad: el diseño para la fácil ampliación de las redes de comunicación con el fin de hacer frente a futuros cambios.
- Interoperabilidad: flexibilidad de las tecnologías la red de comunicaciones de una *Smart Grid* para compartir datos e intercambiar información.

- **Ubicuidad:** la red de comunicación debe abarcar todas las ubicaciones que forman parte de la *Smart Grid* para ser capaz de establecer la comunicación entre dispositivos situados a grandes distancias.
- **Seguridad:** incluye aspectos como la autenticidad y disponibilidad de los datos, así como la privacidad y confidencialidad de la información, ya que se va a transmitir una gran cantidad de datos sensibles.
- **Fiabilidad:** la capacidad de la red para realizar sus tareas correctamente de forma continua.
- **Latencia:** los retardos en la recepción de la información en la red de comunicaciones deben ser mínimos para que la respuesta óptima se dé lo más rápido posible.

Se debe dotar de interfaces bien definidas a las tecnologías de la arquitectura de comunicaciones de las *Smart Grids*, por lo que se ha buscado la estandarización mediante los siguientes subniveles jerárquicos de TIC, que se visualizan en la Figura 15:

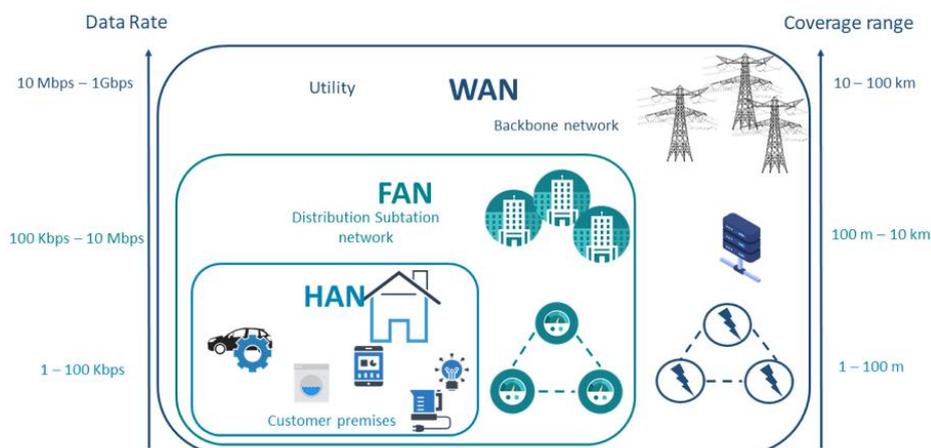


Figura 15. Subniveles de red [23]

1. HAN (*Home Area Network*):

Se trata de una red de área local (LAN), es decir, de corto alcance, que se desarrolla para conectar los dispositivos digitales presentes en el entorno de una vivienda o edificio para controlar la información, logrando así un consumo energético más eficiente [24].

Esta capa, que está en el nivel inferior en orden de jerarquía, debe ser transparente a las superiores, permitiendo una interacción con ellas independientemente de la tecnología empleada, dado que no existe una estandarización en las tecnologías a nivel doméstico. A su vez, estas redes se pueden conectar a elementos auxiliares del usuario, como los PEV, sistemas de autoconsumo residenciales y dispositivos de almacenamiento. En función del tipo de edificio (residencial o empresarial) se requerirá una red HAN específica: una BAN (*Building Area Network*) o una IAN (*Industrial Area Network*).

A este nivel, se exige escalabilidad y buena cobertura. Es habitual encontrar tecnologías como Bluetooth para comunicar dispositivos en distancias cortas o PLC (Power Line Communications) y WiFi.

2. NAN (*Neighbourhood Area Network*):

A continuación, este nivel de red se encarga de transmitir la información de los contadores inteligentes (*Smart Meters*) entre los consumidores y las compañías eléctricas. Una red NAN cubre una zona geográfica limitada que puede comprender varios edificios. De igual manera que en HAN, a este nivel, se emplea tecnología Bluetooth, PLC, WiFi, ...

3. WAN (*Wide Area Network*):

Finalmente, la red de mayor nivel cubre áreas más amplias y suele integrar diferentes redes de menor tamaño. Su función principal es recopilar datos e información con origen en la NAN y transmitirlos a través de largas distancias a varios agentes: compañías eléctricas, estaciones de distribución de energía, subestaciones, redes de distribución y centros de control.

A este nivel se requiere mayor ancho de banda para disminuir la latencia y así proporcionar respuesta en tiempo real. Las tecnologías más habituales son Red Inalámbrica Móvil 4G LTE/GSM o WiMAX, Red Híbrida Fibra-Coaxial (HFC) o Línea de Abonado Digital (DSL). La opción más fiable, robusta y con posibilidades de escalabilidad es la Red Óptica Pasiva (*Passive Optical Network*, PON) [24].

8.1 Micro-redes

La concepción de la red eléctrica inteligente se basa en la coordinación e interconexión de un conjunto de micro-redes, que se definen como sistemas de generación eléctrica monitorizados, bidireccionales y autoadaptables [25] que forman una red en miniatura independiente o conectada a la red global. Las micro-redes emplean tecnología digital y favorecen la integración de las fuentes de generación de origen renovable. Son capaces de satisfacer la demanda energética local comportándose como un sistema de abastecimiento a pequeña escala que, en caso de ser insuficiente para cubrir el consumo de energía, se nutre del resto de la red conectada [13].

Para su correcto funcionamiento, las micro-redes integran sensores inteligentes que aportan datos y medidas en tiempo real a los centros de nivel locales. Estos últimos son núcleos capaces de controlar la micro-red y actúan como punto de conexión con el resto de micro-redes.

Al emplear estas redes a pequeña escala se refuerza la red global, ya que las diferentes áreas que la constituyen operan de forma independiente, aunque estén conectadas entre sí. Es especialmente notorio el incremento de la eficiencia en el transporte energético al ser menor la distancia que separa la producción y el consumo.

Los elementos más importantes que forman parte de la arquitectura de una micro-red y, por lo tanto, de las *Smart Grids*, son los siguientes [26]:

- Inversores: se encargan de transformar la corriente continua generada por los sistemas de energía renovable (paneles solares fotovoltaicos, generadores eólicos, etc.) en corriente alterna para su uso final.
- Contadores inteligentes: se trata de medidores AMI que generalmente disponen de controladores de energía programables para limitar el consumo, con un puerto HAN y servicios de tarificación bajo demanda. Para su integración en las redes eléctricas inteligentes, además de incluir elementos básicos como el sistema de medida, la memoria y el dispositivo de información principal, estos contadores cuentan con elementos complementarios de ampliación de sus capacidades: sistemas de cálculo, procesadores de cálculo y comunicaciones y dispositivos de accionamiento y control.

- Concentrador PLC: su misión principal es la lectura de datos de los contadores inteligentes y la transmisión de dicha información a uno o varios sistemas informáticos para su gestión y control.
- Aplicaciones *multi-utility*: los sistemas de telegestión están diseñados para agregar datos de medida de compañías de múltiples servicios, como pueden ser el agua y el gas. De esta manera, se crea una coordinación plena de los recursos consumidos en un recinto cerrado.
- Dispositivos de seccionamiento: se encargan de aislar eléctricamente ciertas zonas de la instalación eléctrica, creando una situación sin carga o en vacío, para poder acceder a ella de forma segura con el fin de realizar inspecciones o labores de mantenimiento.
- Fuentes de energía distribuidas: tanto de generación como de almacenamiento, son capaces de operar de forma independiente y autónoma, así como de conectarse a la red principal.
- Control de la micro-red: se emplea para mantener los valores de tensión y frecuencia dentro de los límites establecidos y llevar a cabo un seguimiento de las operaciones dentro de la micro-red, supervisando diferentes parámetros del proceso.

8.2 Tecnologías en Smart Grids

Las principales tecnologías implicadas en las *Smart Grids* son las siguientes [27]:

TICs:

Las tecnologías de información y telecomunicación (TICs) garantizan que todos los agentes del sistema eléctrico estén coordinados con el fin de gestionar y controlar el suministro energético.

Además de una arquitectura de red y una infraestructura que permitan el intercambio continuo de información, las *Smart Grids* requieren de estándares de comunicación definidos a través de un lenguaje común que facilite el intercambio de datos para asegurar la interconexión efectiva de todos los equipos y sistemas

Cuando los datos son transmitidos a través de la red, deben ser transformados lo más rápido posible en información, que será empleada por diferentes herramientas y aplicaciones para mejorar el servicio, la fiabilidad y la eficiencia.

Gestionar tal volumen de información generada de forma continua es complejo y requiere de procesadores de cálculo avanzados.

Además, a lo largo de los años se han ido incorporando nuevas y complejas TICs en los equipos de la red eléctrica, aumentando de esta manera la capacidad de interconexión y dotando a los sistemas de más inteligencia, pero aumentando también la cantidad de datos a tratar.

Contadores Inteligentes

Tal y como se ha ido comentando a lo largo del documento, para dotar a una red de inteligencia se debe procesar una cantidad ingente de información que procede de diferentes agentes de la red.

Al implementar contadores inteligentes en las redes eléctricas, es posible obtener, almacenar y enviar a los centros de control y procesamiento dicha información.

Se distinguen dos grupos básicos de contadores, según sus funcionalidades o servicios [23]: Los contadores AMR se habilitan para la teledatada, son pasivos y la comunicación es unidireccional, tal y como se ha explicado anteriormente.

Los contadores AMI (Figura 16), por otra parte, permiten gestionar los equipos de forma remota, incluyendo labores de conexión y desconexión, cambios de la potencia contratada, monitorización de la calidad de onda y el control de las redes y lectura de información, incluyendo el consumo en tiempo real.

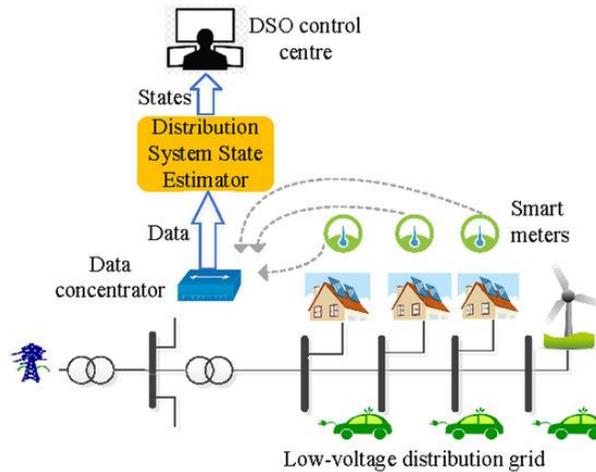


Figura 16. Esquema de funcionamiento de contadores AMI [28]

Dentro de los contadores inteligentes se encuentran varios bloques de medición básicos [29]: unidad micro-controladora, conversor analógico-digital, AFE (*Analog-Front End*), pantalla de cristal líquido, unidad de interfaz, reloj en tiempo real, algoritmos de seguridad y protocolos de comunicación.

Sensores:

Las *Smart Grids* no funcionarían sin la implementación masiva de sensores, que son los componentes encargados de convertir las magnitudes físicas en señales eléctricas. A su vez, tras ser transmitidas y almacenadas, estas señales eléctricas se transforman en datos que deben ser gestionados para conocer el estado de la red en tiempo real y determinar si se requiere cualquier tipo de intervención.

Además de medir y monitorizar diferentes características físicas de la red, los sensores están dotados de inteligencia y son capaces de comunicarse enviando datos. Los sensores inalámbricos tienen un gran potencial en el ámbito de las *Smart Grids* por su menor coste de instalación, ya que las redes inteligentes requieren de un gran número de sensores.

Especialmente interesantes para las *Smart Grids* son los sincrofasadores o Unidades de Medición Fasorial (*Phasor Measurement Units*, PMU). Estos dispositivos permiten analizar de forma precisa y rápida el estado de un sistema eléctrico de transmisión/distribución. Su característica distintiva es que comparan el voltaje medido localmente con una onda de referencia global, obteniendo información en fases de todo el sistema [30].

Los PMUs permiten la detección precoz de situaciones de riesgo de inestabilidad, logrando una operación de red dentro de los límites operativos, térmicos y de estabilidad. Igualmente, son hasta 100 veces más rápidos y fiables que los sensores que implementan SCADA, como se observa en la Figura 17.

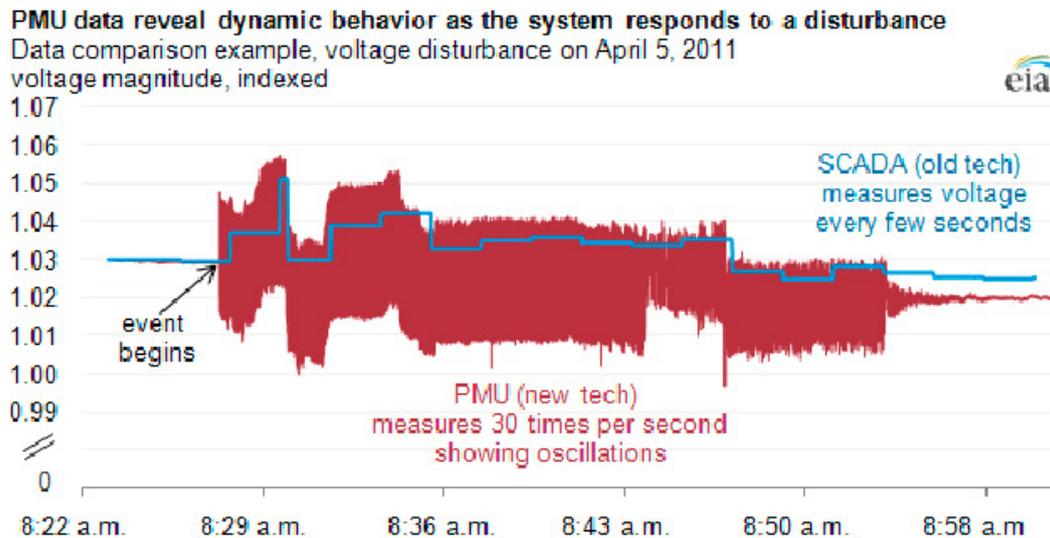


Figura 17. Comparación de medidas de SCADA y PMU [31]

Sistemas de almacenamiento de energía

Las tecnologías de almacenamiento de energía son esenciales para el funcionamiento de las *Smart Grids* debido al carácter intermitente que tiene la generación renovable, que cada vez cuenta con más peso en el mix energético. Asimismo, el consumo industrial, residencial, etc. es variable en el tiempo y no siempre coincide con la generación, por lo que se deben realizar predicciones sobre la demanda energética y en base a esta, realizar una generación acorde en todo momento.

Sabiendo que las fuentes renovables son un recurso poco predecible, es evidente la necesidad de contar con un sistema complementario, en forma de almacenamiento energético local, para cubrir los picos de demanda y así paliar la intermitencia de generación eléctrica, incrementando la capacidad efectiva de la red de transporte y distribución y mejorando la fiabilidad del sistema.

Actualmente se está investigando en el desarrollo de diferentes tecnologías de almacenamiento, pero la mayoría de ellas se encuentran aún en fases preliminares y tecnológicamente inmaduras.

Según un estudio técnico del IDAE [32], las tecnologías de almacenamiento se pueden clasificar en diez tipos, como se presenta a continuación, en la Figura 18. No se llevará a cabo una descripción de cada una de ellas, pues se considera que excede el alcance de este Trabajo Fin de Máster y la mención de las mismas es suficiente para su comprensión general.

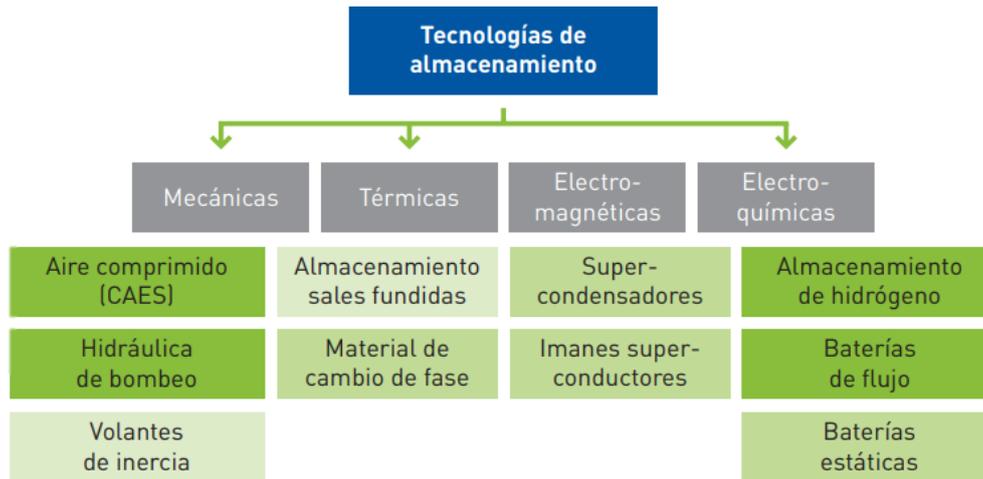


Figura 18. Tecnologías de almacenamiento según el IDAE [32]

8.3 Electrónica de potencia

La electrónica de potencia permite transformar la energía eléctrica en amplitud y frecuencia al adaptar los parámetros eléctricos a cada aplicación de uso mediante un sistema de convertidores electrónicos [33]. Asimismo, minimiza las pérdidas de potencia en equipos eléctrico de consumo y es capaz de realizar controles de equipos en sistemas industriales.

En los últimos años, la electrónica de potencia aplicada a las *Smart Grids* está permitiendo integrar tanto las fuentes de generación renovables como los sistemas de almacenamiento. La *Smart Grid* necesita diferentes equipos basados en electrónica de potencia para los inversores fotovoltaicos, convertidores para sistemas de baterías (Figura 19) y convertidores “*Back To Back*” para aerogeneradores eólicos.



Figura 19. Convertidor para sistemas de baterías de 100 kW [33]

A través del uso de dispositivos FACTS es posible regular la transmisión de la corriente alterna, incrementando o disminuyendo el flujo de potencia en líneas específicas para adecuarse a cada aplicación dentro del sistema eléctrico con el fin de evitar sobrecargas, aumentar la capacidad de transferencia de potencia y la seguridad del sistema, atenuar las oscilaciones, ser capaz de actuar con rapidez ante cambios de condiciones de la red (control de flujo) y minimizar las pérdidas económicas [34].

9. CADENA DE VALOR DE LAS REDES ELÉCTRICAS EN EL PAÍS VASCO

Históricamente, el País Vasco cuenta con un fuerte sector industrial que suministra tanto productos como servicios de alto valor añadido para las redes eléctricas. Desde la segunda mitad del siglo XX el sector eléctrico no ha dejado de crecer y, en la actualidad, existen más de 80 empresas con actividad en este ámbito, entre las cuales destacan las compañías prestadoras de servicios y fabricantes de equipos, especialmente las ingenierías y las empresas de servicios de instalación, operación y mantenimiento.

Según el Informe sectorial de Redes Eléctricas 2021 del Grupo SPRI [35], “la facturación en redes eléctricas en Euskadi ascendió a 18.671 M€ en 2020, con un crecimiento medio anual superior al 4% anual desde 2017”.

Si bien los operadores de red suponen más de la mitad del sector, les siguen de cerca los fabricantes de equipos eléctricos, con un 30% del mix. Aquí, las grandes empresas representan un 88% de la facturación, mientras que las PYMES representan un 12%.

A día de hoy, más de 6.200 personas están empleadas en el sector de las redes eléctricas en Euskadi en puestos de trabajo cualificados, evidenciando no solo la importancia que esta área tiene para la economía vasca, sino también el gran potencial de mercado a nivel global.

Respecto al gasto en Investigación y Desarrollo en redes eléctricas, en el año 2020 el País Vasco invirtió 203,6 M€ en este sector estratégico, cuya financiación crece a un ritmo del 1,5% anual desde 2017, según el Grupo SPRI [35]. Este elevado gasto en I+D se concentra en un 48% entre los operadores, en un 40% en entre los fabricantes y el presupuesto restante entre las compañías que prestan servicios.

A continuación, se procede a realizar una breve presentación de las principales empresas del sector de redes eléctricas en el País Vasco, incluyendo una caracterización de las mismas y clasificándolas según el tipo de negocio.

En la Figura 20, a continuación, se puede observar la cadena de valor de las empresas vascas del sector de redes eléctricas, organizadas en diferentes segmentos.

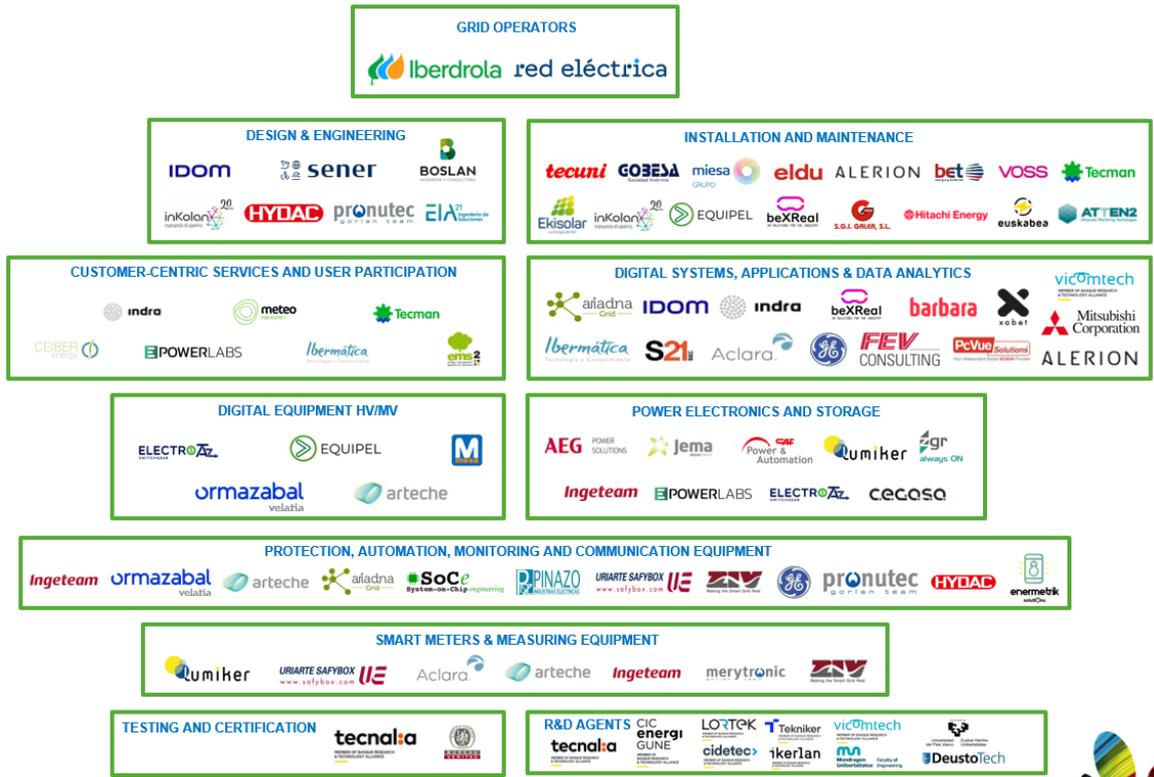


Figura 20. Cadena de valor de las empresas de redes eléctricas del País Vasco [36]

9.1 Operadores de red

Existen dos operadores de red en el País Vasco, cuyas actividades garantizan la seguridad y continuidad del suministro eléctrico, “así como la correcta coordinación entre el sistema de producción y la red de transporte, asegurando que la energía producida por los generadores sea transportada hasta las redes de distribución con las condiciones de calidad exigibles en aplicación de la normativa vigente” [37].

Red eléctrica (REE)

Red Eléctrica de España o REE se dedica exclusivamente a la operación del sistema eléctrico y al transporte de electricidad (TSO).

Fundada en 1985, es propietaria de la totalidad de la red de transporte de alta tensión en España. En su “Planificación eléctrica 2021-26” [38], el Grupo incluye una inversión de 986 millones de euros en Euskadi, destinados, entre otros, a reforzar el suministro de

energía eléctrica en el territorio y promover la transición hacia un modelo energético descarbonizado.

A lo largo de los últimos años, REE ha llevado a cabo una modernización de su red de telecomunicaciones para una gestión más inteligente de sus activos [39] y ha finalizado varios proyectos a través de su Programa *Grid2030*, logrando desarrollar un módulo de transferencia inalámbrica de potencia con una gran capacidad de aislamiento entre sus partes, un método de control de enlaces embebidos en la red DC que mejora la estabilidad transitoria y de pequeña señal de sistemas eléctricos (Figura 21) y técnicas de control basadas en IA para estabilizar la frecuencia de la red eléctrica.

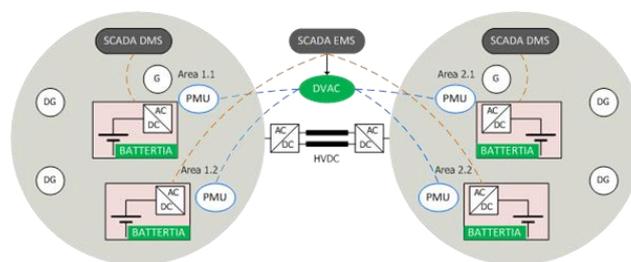


Figura 21. Estructura de control para la red DC del Programa *Grid2030* [39]

Iberdrola (i-DE)

Por su parte, con más de 170 años de trayectoria, el Grupo Iberdrola constituye el segundo operador de red de Euskadi, a través de su compañía distribuidora i-DE, que cuenta con un plan de inversión de más de 400 millones de euros [40].

Los planes del grupo entre 2022 y 2025 supondrán una contribución total de 10.000 M€ a la economía vasca, principalmente en inversiones, compras, salarios e ingresos fiscales. Estas inversiones van dirigidas a la renovación de las infraestructuras de la red eléctrica existente, especialmente en el área de digitalización y automatización de la red [41].

La gran compañía realizó compras a cerca de 600 proveedores vascos por más de 1.700 millones, entre los que destacan Ormazabal, SGRE, INGETEAM, Arteché o MESA [41].

En los últimos años el grupo Iberdrola ha instalado cerca de 15 millones de contadores inteligentes a nivel mundial (Figura 22) y se han incorporado a la red capacidades de

telegestión, supervisión y automatización, realizando una fuerte inversión en el ámbito de las *Smart Grids* [42].



Figura 22. Contadores Inteligentes de Iberdrola [42]

9.2 Servicios de Diseño e Ingeniería

Respecto a las compañías establecidas en el País Vasco que proporcionan servicios de diseño e ingeniería, destacan IDOM, SENER, HYDAC, PRONUTEC, BOSLAN, INKOLAN y EIA21.

IDOM

Con 66 años de experiencia y presencia en 125 países, IDOM es una empresa que presta servicios de Consultoría, Ingeniería y Arquitectura en áreas de actuación muy variadas a través de todo el globo. En el ámbito de las redes eléctricas, la compañía ofrece soluciones de Diseño y Gestión para Líneas de AT, de corriente continua o alterna, aéreas o subterráneas, terrestres o marinas, de nueva creación o modernización y reforma de las existentes, entre otras.

La compañía es experta en la planificación de redes, donde ofrece soluciones en las siguientes áreas: previsión de la demanda de carga, estrategias de generación para mercados grandes y pequeños, gestión de la planificación (criterios de diseño y asistencia), sistemas de potencia aislados (minería, instalaciones industriales), integración de energías renovables en sistemas de T&D, programas de mejora de la eficiencia, ampliación y mejora de la red, evaluación de programas de soterramiento,

estudios de viabilidad (HVAC/HVDC, enlaces por cable) y procedimientos de operación para TSO/DSO [43].

Como ejemplo de proyecto lanzado por IDOM y Deustotech en el ámbito de las *Smart Grids* está proyecto GySeG (Figura 23), un sistema avanzado de Gestión Integral y Predictivo de la Seguridad integrado en una plataforma inteligente que contenga los sistemas de seguridad de una infraestructura distribuida.

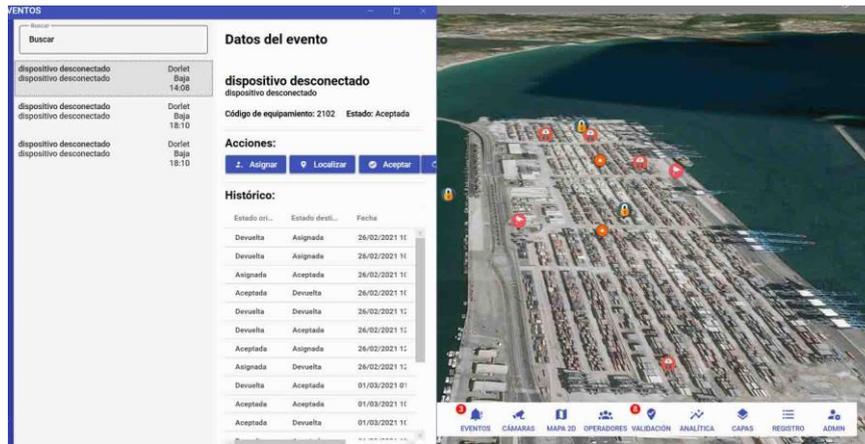


Figura 23. Proyecto GySeG [44]

SENER

SENER es un grupo fundado en 1956, especializado en actividades de Ingeniería y Construcción en múltiples sectores. Es un actor clave en el desarrollo de grandes proyectos de infraestructuras en todo el mundo, donde impulsa la digitalización acelerada para optimizar las operaciones a través de soluciones como el gemelo digital para una gestión avanzada del mantenimiento y la energía [45].

Asimismo, la empresa está enfocada en la digitalización de la industria, con el fin de lograr resultados en productividad y sostenibilidad, nuevamente, a través de la gestión de los activos energéticos.

Impulsados por el compromiso con la descarbonización, la firma vasca es experta en múltiples tecnologías aplicadas a las energías renovables, donde aporta su gran experiencia.

HYDAC

HYDAC es un grupo empresarial especializado en la producción y distribución de componentes, sistemas y servicios relacionados con la hidráulica y la ingeniería de fluidos [46].

Fundado en 1963, en la actualidad ha diversificado su cartera de productos, ofreciendo soluciones de infraestructura de la carga eléctrica (*High Power Charging* - HPC) para vehículos eléctricos de batería (refrigeración para los cables de recarga y la electrónica de potencia), equipos de refrigeración para sistemas de almacenamiento en baterías, tal y como se muestra en la Figura 24, etc.

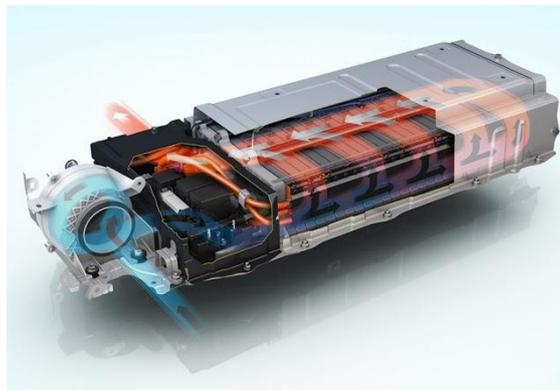


Figura 24. Refrigeración de la batería en un VE [47]

PRONUTEC

Tras 30 años en el mercado, PRONUTEC está considerada como una de las empresas líderes en el sector de la fabricación y comercialización de bienes de equipo para la distribución eléctrica de baja tensión. La empresa está orientada tanto a redes públicas como privadas y su prioridad es la búsqueda y desarrollo de nuevos productos [48].

La compañía perteneciente al Grupo Gorlan incorporó en 2009 el área de Redes Inteligentes en el campo de investigación y desarrollo y actualmente cuenta con una gama de productos en este campo, como se observa en la Figura 25: bases portafusibles inteligentes para la maniobra, protección y sensorización por línea, Tarjetas de Supervisión Avanzada y Remotas de BT dentro de la electrónica de BT y, por último, *Ariadna Smart IoT Platform*, que es una solución de analítica avanzada para redes de BT [49].



Figura 25. Gama de producto *Smart Grids* de BT [49]

BOSLAN

BOSLAN es una firma internacional especializada en servicios de Ingeniería y Consultoría para múltiples sectores. En el entorno de las redes eléctricas, ha llevado a cabo proyectos de instalación completa de líneas aéreas y subterráneas hasta 66 kV [50].

Asimismo, lleva a cabo trabajos de informatización de redes de servicios, donde se incluye la actualización, inventario, captura y carga en el sistema GIS de la información gráfica y alfanumérica de redes eléctricas.

BOSLAN también incluye entre sus soluciones el telecontrol y la automatización de subestaciones, centros de transformación y de la red de MT y AT (Figura 26).



Figura 26. Telecontrol y Automatización de subestaciones por BOSLAN [50]

Igualmente, la compañía ha realizado la gestión de la conexión a la red de parques eólicos *offshore*.

INKOLAN

Esta agrupación constituida por los grandes operadores de servicios públicos (Telefónica, i-DE, EDISTRIBUCIÓN, Naturgy, Grupo Euskaltel, Nortegas y el Consorcio de Aguas de Bilbao) ofrece una plataforma GIS en constante evolución que genera fichero con la información digital de infraestructuras de agua, gas, electricidad, telecomunicaciones y redes municipales [51]. De esta forma, los clientes (generalmente ingenierías, contratistas, arquitectos, ciudades o instituciones, pero también particulares) reciben la información que necesitan para sus proyectos y obras.

Con toda la información recopilada, INKOLAN ha creado un Gemelo Digital en una zona piloto de Bilbao (Figura 27), es decir, una réplica virtual de los principales elementos e infraestructuras de la ciudad con la que se puede interactuar. Ese gemelo nos puede servir, incluso, para simular fenómenos y tomar decisiones en función de los impactos esperados.

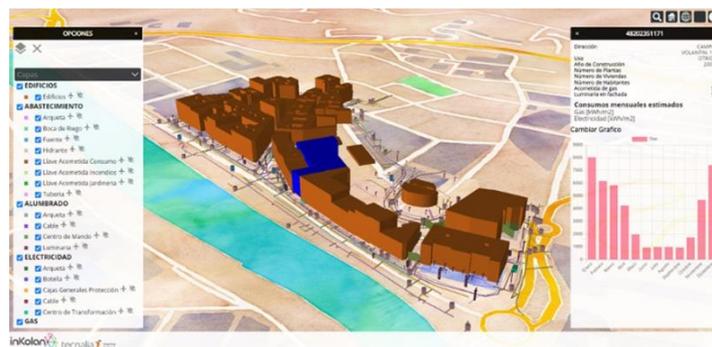


Figura 27. Gemelo Digital de INKOLAN [52]

Según la propia compañía, su principal objetivo es prever qué actuaciones habrá en la ciudad con el fin de reducir el impacto que pueda tener esas obras en su entorno, hasta llegar a dotar de inteligencia a las ciudades, las llamadas *Smart Cities*, con un enfoque continuo en la sostenibilidad, la eficiencia energética y la seguridad [52].

EIA21

EIA21 (Estudios e Ingeniería Aplicada XXI) inició su actividad en 1979 para responder a las necesidades de ingeniería en el campo industrial, ofreciendo soluciones de desarrollo de servicios de ingeniería en instalaciones industriales (*Oil&Gas*, Energía, Química y Renovables), prestación de servicios en obra y ejecución de proyectos [53].

Los ingenieros y técnicos especialistas del área de electricidad de EIA21 realizan, entre otras actividades:

- Parametrización y coordinación de protecciones BT, MT y AT.
- Estandarizaciones de esquemas de control e Ingeniería de detalle.
- Cálculo y modelizado completo de sistemas de potencia en AT, MT y BT:
- Desarrollo de esquemas unifilares.
- *Layout* y canalizaciones de cables, rutados de cables y bandejas, ingeniería de soportes, distribución de tierras aéreas y enterradas, protección catódica, esquemas de interconexión.
- Elaboración de los Proyectos de AT, MT y BT para legalización de la instalación.
- Ingeniería de subestaciones y líneas eléctricas AT, MT para compañía eléctrica.
- Subestaciones de reparto y distribución, de generación, recolectoras y de enlace con red de MT/AT.
- Sistemas de telecontrol para subestaciones eléctricas AT, MT.

La compañía ha trabajado junto a EIA21 y BARBARA IoT en una solución inteligente para la gestión avanzada y la predicción de faltas en cuadros eléctricos (Figura 28), mediante un modelo de mantenimiento predictivo basado en la digitalización a partir de la captura y gestión masivas de datos [54].



Figura 28. Solución inteligente para la gestión avanzada y la predicción de faltas en cuadros eléctricos [54]

9.3 Montaje y mantenimiento

En el País Vasco hay 16 empresas principales dedicadas al montaje y mantenimiento de redes eléctricas, entre las que se encuentran TECUNI, GOBESA, MIESA, ELDU, ALERION, BET, VOSS, Tecman, Ekisolar, Inkolan, Equipel, BExReal, GALEA, HITACHI ENERGT, EUSKABEA y ATEN2. A continuación, se describirán brevemente aquellas compañías que aún no se han comentado a lo largo de este documento.

TECUNI

TECUNI comenzó su andadura en el sector de las Instalaciones Eléctricas en el año 1972, desarrollando un rápido crecimiento hasta llegar a convertirse en una empresa integral, dedicada a la ingeniería eléctrica, el mantenimiento de todo tipo de instalaciones, la construcción y remodelación de instalaciones eléctricas de BT, MT Y AT, así como la gestión de proyectos de eficiencia energética [55].

A través de la iniciativa *Bizkaia Open Future*, TECUNI ha lanzado varios retos tecnológicos a lo largo de los últimos años con el fin de incentivar la transformación digital de las empresas del País Vasco. El primero de ellos alcanzó una solución tecnológica que de manera automatizada realiza un inventario de luminarias indicando características como: geolocalización, marca, modelo, tipología, información, soporte, así como un sistema remoto de lectura de datos. Otro reto fue la elaboración de una simulación realista de los proyectos de TECUNI para presentar las ofertas de iluminación a sus clientes [56].

Desde 2022 hasta 2024, el Ayuntamiento de Bilbao ha adjudicado el contrato de Gestión Energética, mantenimiento y reforma de sus instalaciones eléctricas a TECUNI.

A lo largo de la duración del contrato, la empresa debe analizar el uso que se hace de la energía eléctrica consumida por el Ayuntamiento de Bilbao y entidades vinculadas, proponiendo instalaciones de generación de energía eléctrica de origen renovable, donde resulte más interesante su implantación, así como llevar a cabo reformas y renovaciones de ciertas instalaciones [57].

GOBESA

Formada en 1981, GOBESA se dedica a la distribución al por mayor de equipos electrónicos y de telecomunicaciones y sus componentes [58].

Con un amplio stock y un almacén logístico de 21.000m², la empresa provee de material a numerosas compañías del entorno nacional, procurando equipos en las áreas de digitalización, ciberseguridad, eficiencia energética y automatización, entre otros.

En el ámbito de las *Smart Grids*, GOBESA presentó recientemente unas nuevas unidades de carga para VE, como se ve en la Figura 29, que integran la Gestión Dinámica de Cargas y varias posibilidades de instalación.



Figura 29. Unidades de carga para VE de GOBESA [58]

MIESA

El grupo MIESA está especializado en Ingeniería, Fabricación, Montaje, Puesta en Marcha y Mantenimiento en los campos de la Instrumentación, Electricidad y Automatización industrial [59].

Creada en el año 1983, la firma vasca ha evolucionado hasta convertirse en un profesional en servicios de instalación y montaje en los campos eléctricos de MT y BT (Figura 30), instrumentación, analizadores y trazado eléctrico. Asimismo, su apuesta por la I+D les ha llevado a ofrecer servicios adicionales a los clientes en el marco de la digitalización.



Figura 30. Montaje de Subestación de 24 kV en Leioa [59]

ELDU

ELDU es un grupo con más de 60 años de experiencia en servicios integrales de ingeniería, montaje y mantenimiento de instalaciones eléctricas de AT (Figura 31).



Figura 31. Digitalización de instalaciones de AT por ELDU [60]

Sus áreas de negocio comprenden las Infraestructuras Eléctricas y Energía, Transformadores de potencia, Gestión Energética y ESE y Automatización, Control e Instrumentación, entre otras [60].

La empresa se encuentra sumida en un proceso de mejora de sus servicios mediante herramientas digitales como la aplicación de inteligencia artificial para resolución de averías o implantación de ‘*dispatching*’ [61].

ALERION

La *startup* donostiarra se dedica al uso de drones autónomos para crear duplicados digitales de alta precisión de infraestructuras y para el análisis de evaluación de daños automatizados mediante inspecciones en centrales solares, turbinas eólicas y refinerías,

aunque busca extender sus soluciones a todo tipo de instalaciones, como puede ser la red eléctrica [62].

Los servicios que ofrece ALERION consisten en el desarrollo de una tecnología de navegación autónoma de alta precisión basada en herramientas de inteligencia artificial. Los datos obtenidos permiten generar informes para cumplir con los estándares de cada industria o el desarrollo de gemelos digitales mediante fotogrametría y nubes de puntos LiDAR. En este último caso, se combinan los datos y la inteligencia artificial para ofrecer una representación fiel y predecir fallos [63].

BET

BET (Energía y Sistemas) implementa soluciones de telecomunicación y conectividad para empresas desde 1997, hasta llegar a convertirse en una empresa de referencia en el ámbito de las telecomunicaciones, la informática y la electrónica en el norte de España, donde desarrolla su actividad [64].

En el ámbito eléctrico, la compañía presta servicios de mantenimiento, legalización e instalaciones de AT y BT (Figura 32), además de automatización de maquinaria, diseño y montaje de armarios eléctricos de control, instalación e integración de equipos de medida, transmisores e indicadores y adquisición y tratamiento de datos de producción, entre otros.



Figura 32. Instalación de elementos de AT por BET [64]

Igualmente, BET integra áreas de gestión integral de sistemas de recarga para la Movilidad Eléctrica, estructura informática, centralitas, ciberseguridad, asistencia remota, sistemas informáticos y *storage cloud*.

VOSS

VOSS Fluid es un fabricante de uniones hidráulicas que opera en el mercado internacional, donde ofrece como proveedor integral tecnología de conexión óptima en sistemas de fluidos [65]. Las aplicaciones para sus productos son tanto para sistemas hidráulicos móviles como para sistemas hidráulicos estacionarios. Concretamente, en el ámbito de la energía fabrican uniones para intercambiadores de calor, circuitos de refrigeración de VE, equipos de refrigeración para sistemas de almacenamiento en baterías, etc.

TECMAN

Grupo TECMAN, especialista en el campo de las instalaciones energéticas en diversas tecnologías, es una compañía fundada en 1985 que, tras adquirir la totalidad del accionariado de la empresa ECI en 2017, amplió su rango de acción hacia el sector de las instalaciones eléctricas, electrónicas y de telecomunicaciones [66].

En la actualidad, dentro del sector de las redes eléctricas, TECMAN se dedica a la realización de instalaciones AT – BT, Telecomunicaciones (Redes voz-datos, Domótica, Seguridad, Sistemas de control industrial), Mantenimientos (Predictivo-Correctivo, Preinspecciones, Líneas de Distribución, Iluminación) y Proyectos I+D (AT, BT, Iluminación, redes) [67].

EKISOLAR

EKISOLAR se creó en el año 2006 y su principal actividad es la instalación integral de placas solares fotovoltaicas, a través de proyectos llave en mano [68].

La compañía está acreditada a para realizar instalaciones del Sistema AOSS (*Always Ongoing Sufficiency System*, Figura 33) en Euskadi, un sistema de autoconsumo que se compone de diversos dispositivos de generación eléctrica, establecimiento de red interna, inyección directa a la red eléctrica doméstica y acumulación [69].



Figura 33. Sistema AOSS [69]

EQUIPEL

En el año 1983 se funda Equipos Eléctricos EQUIPEL con el objetivo de dar soluciones específicas en cualquier Instalación Eléctrica de BT y MT hasta 72,5 kV, especializándose en instalaciones a medida [70].

La empresa está altamente especializada en celdas de potencia aisladas en gas y aire (Figura 34), Celdas de PT y RT, así como en cuadros de BT, *Stringboxes* y *Retrofits*.



Figura 34. Celdas de Equipel [70]

BExREAL

BExREAL es una empresa que emplea tecnologías de realidad aumentada y mixta (AR/XR) para desarrollar el potencial de mejora en actividades industriales, concretamente a través de la gestión de datos, información y conocimiento técnico [71].

La *startup* desarrolla aplicaciones y contenidos para procesos de autoaprendizaje y mantenimiento, para asistencia remota, posicionamiento de elementos 3D holográficos

en su posicionamiento real, soluciones de *business intelligence* y reuniones inmersivas [72].

GALEA

GALEA ELECTRIC, filial del Grupo GALEA, es una compañía en sistemas avanzados de protección y gestión de redes eléctricas y comunicación [73].

A través de su sistema *WireWatch* (Figura 35) para evitar robos de cables de cobre, la empresa colabora activa y directamente en una gestión de redes eléctricas responsable y sostenible que redundará en una mejor y más cuidada explotación de los recursos naturales [74].

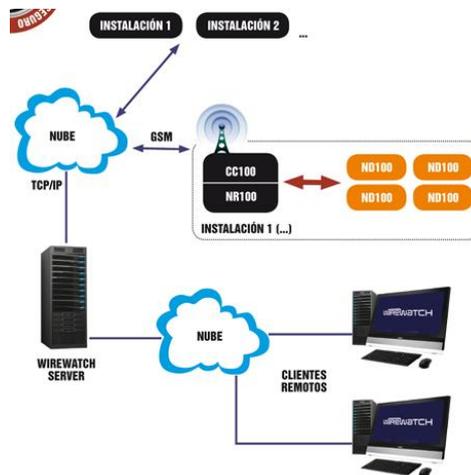


Figura 35. Sistema *WireWatch* de GALEA ELECTRIC [74]

La solución incluye sistema avanzado de control, detección y alarma inmediata frente al robo o sabotaje de redes eléctricas comunes, redes de energía para sistemas de bombeo de agua, generación de energía solar y con los tendidos eléctricos ferroviarios, iluminación y verificación y el control de líneas de tierra, etc.

HITACHI ENERGY

HITACHI ENERGY es una multinacional especializada en tecnología por clientes de servicios públicos, industriales e infraestructura en áreas emergentes como movilidad sostenible, ciudades inteligentes, almacenamiento de energía y centros de datos [75].

Entre sus productos y soluciones se encuentran la gestión de activos y trabajo, accesorios para cables, redes de comunicación, ciberseguridad, seccionadores, digitalización, gestión de la cartera de energía, almacenamiento de energía, disyuntores del generador, soluciones *Grid Edge*, disyuntores y conmutadores de AT, HVDC, transformadores de medida, calidad energética, sistemas de control, supervisión y adquisición de información, semiconductores, control, protección y automatización de subestaciones, supresores de sobretensión y transformadores.

Respecto a su contribución a las *Smart Grids*, destaca la incorporación de sistemas de automatización de subestaciones, que permite el control y monitoreo local y remoto de todos los activos de energía (Figura 36), así como la integración de datos en la empresa para una administración eficiente de la energía. Además, la empresa tiene en mente llevar a cabo la digitalización de varios puertos, creando así los llamados *Smart Ports* o puertos inteligentes.



Figura 36. Control y monitoreo de HITACHI ENERGY [75]

EUSKABEA

EUSKABEA es una firma guipuzcoana especializada en proveer de servicios integrales de electricidad a sectores tan variados como el de acero, la automoción, la elevación o las energías renovables [76].

La empresa ofrece soluciones de instalación y mantenimiento eléctrico, control, análisis de datos y plataformas *offshore*, además de servicios de ingeniería e instalación y construcción de cuadros.

En 2019, EUSKABEA inauguró una nueva planta en Andoian dirigida hacia la digitalización de sus soluciones [77]. Asimismo, la compañía ha desarrollado una

plataforma, Euskabea-Sattins (Figura 37), que dispone de un sistema de gestión energética para monitorizar el consumo a través de la recopilación de datos y el mantenimiento predictivo [78].

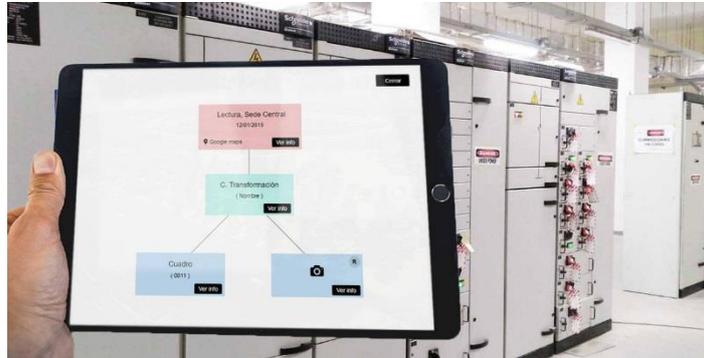


Figura 37. Plataforma Euskabea-Sattins [78]

ATTEN2

ATTEN2 es una compañía dedicada a desarrollar, producir y comercializar sensores ópticos capaces de analizar en tiempo real la condición de máquinas críticas. Entre sus usos destacan aquellos que tienen que ver con la producción y distribución de electricidad [79].

En concreto, sus primeros productos, OilHealth y OilWear (Figura 38), son sensores con aplicación en la monitorización del aceite en aerogeneradores. Estos sensores, basados en una nueva tecnología patentada y desarrollada de forma conjunta por IK4-TEKNIKER y ATTEN2, permiten incrementar la eficiencia en aquellas aplicaciones que requieren un uso intensivo de aceite, permitiendo la monitorización de su estado en remoto y en tiempo real, y consiguiendo un nivel de seguimiento muy superior al de los métodos de supervisión tradicionales [80].



Figura 38. Sensores OilHealth y OilWear [80]

9.4 Servicios centrados en el cliente y participación de los usuarios

Respecto a las compañías vascas que han desarrollado su línea de negocio de redes eléctricas en servicios centrados en el cliente y participación de los usuarios, destacan INDRA, METEO FOR ENERGY, TECMAN, CEIBER, EPOWERLABS, IBERMÁTICA y EMS2. En este apartado se caracterizará de forma breve cada una de ellas, en el caso de que no hayan sido descritas anteriormente en el documento.

INDRA

INDRA es una empresa multinacional que ofrece servicios de consultoría sobre transporte, defensa, energía, telecomunicaciones y servicios financieros [81].

La compañía cuenta con un área de negocio *Smart Grid*, donde ofrece un ecosistema completo, denominado “*Active Grid*” para “soportar la operación dinámica de una red de distribución donde los activos de la red inteligente, los consumidores conectados y los nuevos recursos distribuidos de la energía interactúan continuamente, operando en la red de forma más fiable y eficiente” [81].

Active Grid (Figura 39) se compone de los siguientes subsistemas [82]:

- **Grid Analytics:** Extiende la vida útil de los activos midiendo, monitorizando y prediciendo continuamente las tendencias claves de la red mediante *Big Data*.

- **InGRID:** Monitoriza, analiza y optimiza la red (AT, MT, BT) en tiempo real empleando tecnologías distribuidas y escalables.
- **iSPEED:** Proporciona interoperabilidad abierta en tiempo real entre dispositivos, nodos y sistemas en un espacio de datos común.
- **Node#1:** Aplica las tecnologías INTEL e IoT industrial para dotar a las subestaciones de inteligencia que permita la integración, el procesamiento, la evaluación y el control de riesgos.

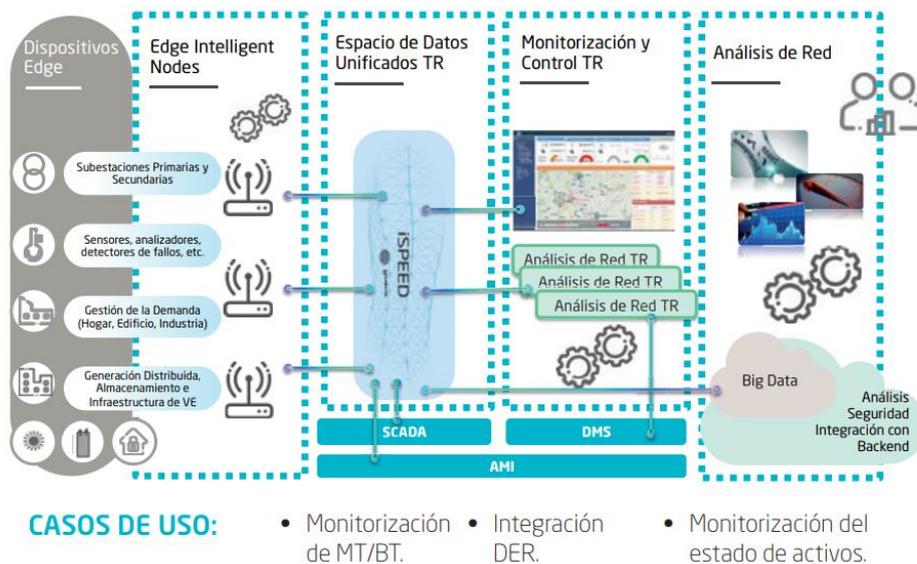


Figura 39. Active Grid de Indra [82]

METEO FOR ENERGY:

La *startup* METEO FOR ENERGY ofrece desde 2013 una plataforma web o *software* que permite que las plantas generadoras de energías renovables sepan con exactitud qué cantidad de energía van a producir en las próximas horas o días [83].

Para llevar a cabo estas predicciones de generación, la empresa alavesa realiza una combinación de analítica avanzada de datos de centros de meteorología (Figura 40) y datos históricos de las plantas de producción, que trata mediante técnicas de inteligencia artificial y ‘*machine learning*’ [84].



Figura 40. Analítica avanzada de datos de centros de meteorología por METEO FOR ENERGY [84]

La solución METEO FOR ENERGY no solo tiene un impacto económico en el mercado eléctrico, sino que es especialmente útil para las empresas de cara a planificar mantenimientos preventivos de las instalaciones.

CEIBER:

Creada por IBERMÁTICA y CEI, CEIBER ofrece servicios de gestión del consumo energético para reducir sus costes, lo que deriva en un aumento de la competitividad [85].

Entre las tareas de la compañía, está la gestión compra de energía y de teled medida para el suministro eléctrico donde, a través del acceso directo a los contadores del cliente (con el objeto de disponer de las medidas eléctricas), es capaz de adecuar los contratos de acceso a las redes eléctricas con el distribuidor. Asimismo, la compañía ofrece la posibilidad de gestionar el sistema de teled medida reportando mensualmente un informe detallado de los consumos energéticos y de los costes asociados [86].

EPOWERLABS:

EPOWERLABS es una firma guipuzcoana especializada en servicios integrales de ingeniería y desarrollo de productos para soluciones de movilidad eléctrica [87].

La misión de EPOWERLABS es desarrollar electrónica de potencia orientada a la movilidad eléctrica para hacer un uso más eficiente y avanzado de la energía.

Actualmente están desarrollando inversores de potencia (Figura 41) y convertidores DC/DC para aplicaciones de movilidad ligera en tecnología GaN [88].



Figura 41. Inversor DC/DC de EPOWERLABS [88]

La compañía ha logrado recientemente contratos de suministro de sistemas de tracción eléctrica con fabricantes de vehículos en España, Francia e India y espera lanzar pronto una nueva gama de sistemas electrónicos para la gestión de baterías [89].

IBERMÁTICA:

Creada en el año 1973, IBERMÁTICA es una compañía global de servicios en TIC, cuya actividad se centra en Consultoría TIC, Servicios e infraestructuras, Integración de sistemas de información, *Outsourcing* e Implantación de soluciones integradas de gestión empresarial [90].

IBERMÁTICA cuenta con una unidad de I+D+i empresarial de investigación aplicada que, entre otros fines, busca promover soluciones en los ámbitos de eficiencia energética: optimización de consumo, *Smart Grids*, analítica energética, curvas de consumo, etc.

IBERMÁTICA participa en la implementación de una plataforma digital abierta para la gestión de recursos y servicios en el Parque Tecnológico de la Isla de La Cartuja, donde aporta su experiencia en digitalización con el fin de crear una *Smart Grid* a pequeña escala en el entorno [91].

ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS & SOLUTIONS:

ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS & SOLUTIONS (EMS2) es una empresa que ofrece servicios avanzados de telemedida y gestión energética. [92]

La firma posee un sistema versátil propio de monitorización y gestión energética, capaz de medir, monitorizar y verificar cualquier tipo de consumo (electricidad, agua, gas, gasóleo, parámetros ambientales...) mediante tecnología M2M, IoT, etc.

9.5 Sistemas digitales, aplicaciones y análisis de datos

ARIADNA GRID, IDOM, INDRA, BEXREAL, BARBARA IOT, XABET, VICOMTECH, MITSUBISHI CORPORATION, IBERMÁTICA, S21, ACLARA METERS, GENERAL ELECTRIC, FEV IBERIA, PCVUE SOLUTIONS y ALERION son las compañías dedicadas al desarrollo de sistemas digitales, aplicaciones y análisis de datos en Euskadi. Seguidamente, se describirá cada una de las compañías, en caso de tratarse de la primera mención en el documento.

ARIADNA GRID:

ARIADNA GRID trabaja en el ámbito de las redes eléctricas inteligentes. Comenzó su andadura en 2007, creando una aplicación digital novedosa, que permitía conocer la topología del punto de conexión de cada cliente a la red, es decir, a qué centro de transformación, línea y fase de éste estaba conectado cada hogar [93].

Ahora, ARIADNA GRID ha conseguido hacerse un hueco como proveedora de los principales actores en la distribución eléctrica, participa de forma relevante en numerosos programas de innovación e incluso ha creado MERYTRONIC junto a Grupo GORLAN, dedicada al desarrollo y producción de equipos electrónicos.

La herramienta de analítica avanzada de ARIADNA GRID (Figura 42) se alimenta de los datos aportados por los sensores instalados en las redes de BT (incluidos los *Smart Meters*), aportando soluciones para casos de uso concretos: Topología de red de BT, Balance energético, Detección de pérdidas, Contador manipulado, Calidad de onda, Gestión masiva de dispositivos, etc. [94].



Figura 42. Esquema de la herramienta de analítica avanzada de ARIADNA GRID [94]

BARBARA IoT:

BARBARA IoT es un fabricante de *software* cuya misión es desarrollar un IoT industrial robusto, simple y seguro [95].

BARBARA trabaja en el ámbito de las *Smart Grids*, logrando habilitar su flexibilidad con tecnología Edge (Figura 43) y haciéndola accesible a todos los agentes de la red: TSO's, Operadores DERs, Comunidades energéticas, Minoristas, Agregadores, DSOs y Fabricantes de IEDs [96].

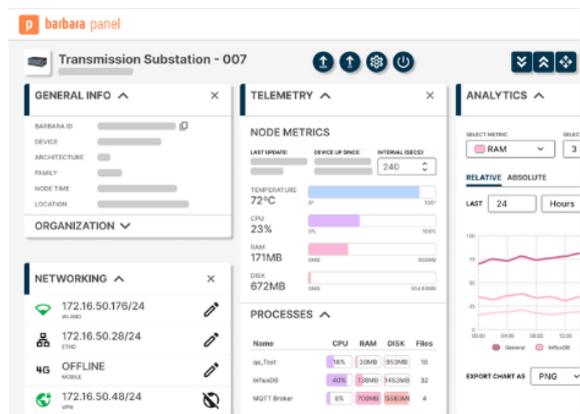


Figura 43. Plataforma Edge Industrial de Barbara IoT [96]

La compañía cuenta con numerosos casos de éxito, tales como el desarrollo de un gemelo digital de un transformador de distribución, la implantación de centrales eléctricas virtuales para una gestión eficiente de la demanda y la habilitación de un modelo de predicción temprana para líneas críticas de AT [97].

XABET:

Fundada en 2017, XABET es una empresa dedicada a la gestión de datos y desarrollo de plataformas digitales (Figura 44). En los sectores eólico y solar, se dedica a la explotación de datos, módulos predictivos y herramientas de toma de decisión para mejorar el rendimiento de activos, ayudando así a la cadena de suministro [98].



Figura 44. Plataforma de XABET [98]

En el sector *Oil&Gas*, XABET desarrolla módulos digitales en el ámbito *data analytics* y *machine learning* para optimizar los procesos productivos y, en el ámbito de servicios de energía y movilidad al consumidor, crea herramientas digitales y plataformas o centro de control para la toma de decisiones del ámbito de movilidad, almacenamiento de energía y gestión remota de activos [99].

VICOMTECH:

El centro formativo y tecnológico VICOMTECH, fundado en 2001, está especializado en la investigación aplicada en tecnologías digitales [100]. Trabaja en campos de investigación muy diversos, tales como *Smart Grids*, centros operativos remotos, automatización de redes y subestaciones eléctricas, servicios de energía y movilidad, baterías y automatización de la economía circular. Además, se dedica a la gestión de la generación de energía eólica, de las olas y solar [101].

VICOMTECH aplica modelos de inteligencia artificial en la digitalización del sector energético, mejorando de esta manera la ciberseguridad de las infraestructuras críticas y la confidencialidad de los datos. Concretamente, opera en los ámbitos de gestión inteligente de los activos de generación (*Big Data*, *Machine Learning*, *Deep Learning* e

IoT), Integración eficiente de las energías renovables, *Smart Grids* y *Smart mobility* [102].

MITSUBISHI Corporation:

La firma japonesa MITSUBISHI Corporation desarrolla y opera negocios en los sectores de energía, metales, maquinaria, productos químicos, alimentos, financiamiento industrial y medio ambiente [103].

La firma japonesa ha completado el desarrollo y comenzado la operación de "M-tech Labo" (Figura 45), un sistema de demostración de *Smart Grid* que utiliza baterías recargables en Vehículos Eléctricos para la nivelación de la demanda eléctrica de las instalaciones de la fábrica [104].



Figura 45. M-tech Labo de MITSUBISHI Corporation [104]

En 2021 MITSUBISHI Electric Corporation adquirió la empresa británica *Smarter Grid Solutions*, proveedor mundial de *software* de gestión de recursos energéticos distribuidos para empresas de servicios públicos de distribución de energía y operadores de DER [105].

S21:

El Grupo S21 Sec Gestion, perteneciente a THALES, ofrece servicios enfocados a una gestión eficiente de los riesgos de ciberseguridad industrial (Figura 46) [106].



Figura 46. Servicios de ciberseguridad de Grupo S21 [106]

La empresa trabaja en la mejora continua en los siguientes segmentos de negocio: Servicios de *Advisory*, Infraestructura de ciberseguridad, Servicio de monitorización y respuesta inteligente, Inteligencia de amenazas avanzada y Ciberseguridad Industrial en sistemas de automatización y control.

ACLARA METERS:

ACLARA METERS (ACLARA), filial de ACLARA TECHNOLOGIES, es proveedor líder de soluciones inteligentes de infraestructura y medición para servicios de electricidad, gas y agua [107].

Entre sus productos y servicios del ámbito de las *Smart Grids* se encuentran los *Smart Meters* (Figura 47), Soluciones de *software*, Redes de comunicación, Servicios de implementación, Sensores y Controles.



Figura 47. *Smart Meter* de ACLARA [107]

GENERAL ELECTRIC:

GENERAL ELECTRIC es una corporación multinacional de infraestructura, servicios financieros y medios de comunicación [108].

GENERAL ELECTRIC ya ofrece productos y servicios *Smart Grid* (Figura 48) aplicables desde la generación de energías renovables (monitorización y optimización de la generación, protección y control de generadores, interconexión de redes) pasando por la transmisión y distribución (diagnóstico y visualización de la red, fiabilidad y previsión de la demanda, protección del sistema y detección de fallos, restablecimiento del suministro, supervisión y control inalámbricos, comunicaciones por fibra óptica, digitalización de subestaciones, transformadores y gestión de la tensión, almacenamiento, DMS, OMS) hasta el uso final (electrodomésticos inteligentes energéticamente eficientes, contadores inteligentes, infraestructura inalámbrica de contadores avanzados, capacidades de respuesta a la demanda, control del consumo energético doméstico, tecnología de tarificación por tiempo de uso, gestión y control de la energía de reserva, EMS) [109].

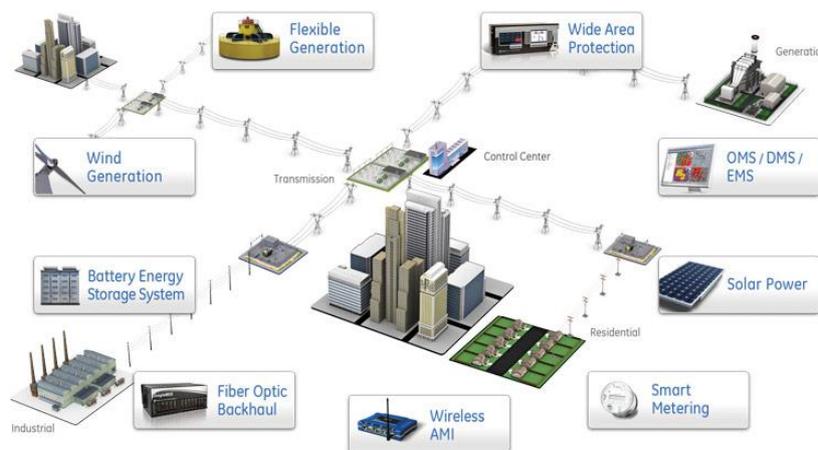


Figura 48. *Smart Grid* de GENERAL ELECTRIC [109]

FEV IBERIA:

FEV IBERIA es parte de la multinacional FEV Group, proveedor en servicios de *hardware* y *software* para vehículos y sistemas de propulsión. La filial de esta compañía se dedica a servicios de consultoría en desarrollo y planificación de producción e ingeniería de costes [110].

La estrategia de la empresa en áreas de movilidad, transporte y soluciones energéticas se fundamenta en la transformación digital, la electrificación de los vehículos, las soluciones de movilidad en ciudades inteligentes, etc.

En este sentido, FEV ha lanzado soluciones para vehículos (desarrollo y electrificación del tren motriz, ingeniería de sistemas, ciberseguridad, movilidad conectada, integración de *software*). Asimismo, también concentra esfuerzos en el desarrollo de las *Smart Grids*, probando sistemas de gestión de energía (Figura 49).

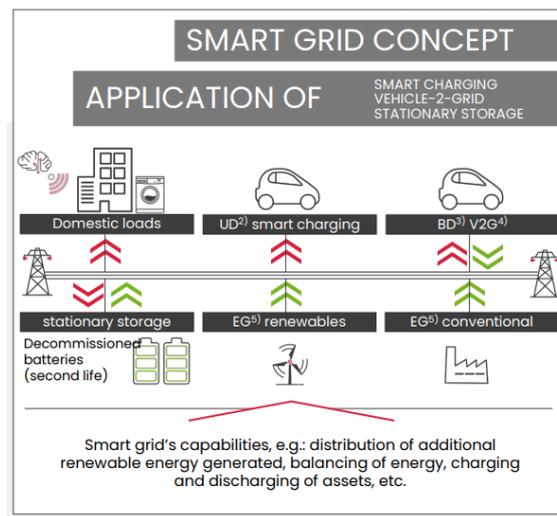


Figura 49. *Smart Grid* del Grupo FEV [110]

PCVUE SOLUTIONS:

PCVUE SOLUTIONS es un proveedor global de *software* SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) en el sector energético, procesos industriales, servicios públicos e infraestructura (*Smart City, SmartBuilding, Smart Water, Smart Grid*), entre otros [111].

La compañía, que forma parte del grupo ARC Informatique, ofrece soluciones innovadoras que simplifican el acceso a la información y facilitan la toma de decisiones en remoto e integrando IoT (Figura 50).



Figura 50. PCVUE SOLUTIONS: Dominio de interfaces entre Humanos, Sistemas y Objetos Conectados [111]

PCVUE proporciona una plataforma de clase mundial con protocolos de comunicación industriales nativos para la gestión de la energía y la interoperabilidad de redes inteligentes, como IEC 61850 (certificación DNV KEMA), IEC 60870-5-104, DNP3 e IEC 61850 [112].

9.6 Equipos digitales AT/MT

Las grandes empresas fabricantes de equipos digitales AT/MT, muy arraigadas en el País Vasco, son ELECTROTAZ, EQUIPEL, MESA, Ormazabal y Artech. En este apartado se realizará una breve descripción de aquellas empresas que figuren en el trabajo por vez primera.

ELECTROTAZ:

Con una experiencia de más de 60 años en el sector, ELECTROTAZ ofrece sus productos y servicios a medida, presentando soluciones eficaces dentro del campo de la aparata de MT y AT [113].

Los productos de ELECTROTAZ (accionamientos, aisladores, bases portafusibles, interruptores – seccionadores, seccionadores, etc.) van instalados en subestaciones eléctricas, líneas de distribución, parques eólicos o fotovoltaicos, redes ferroviarias o grandes industrias. Todos los equipos de accionamiento eléctrico están diseñados para

poder ser gobernados a distancia a través de un SCADA o estar integrados en una red inteligente, como se observa en la Figura 51 [114].

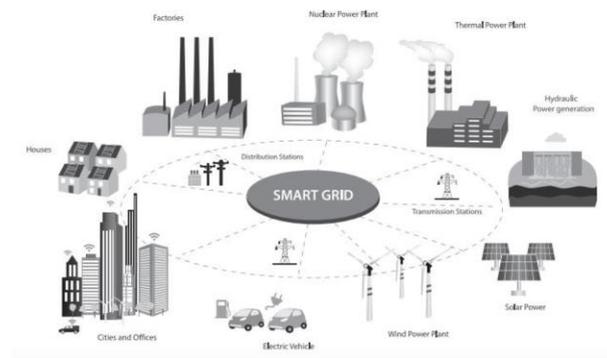


Figura 51. Esquema de *Smart Grid* del catálogo de Electrotaz [114]

MESA:

Integrada dentro del grupo Schneider Electric, MESA fue fundada en 1947 y actualmente se dedica a diseñar y fabricar soluciones energéticas en MT y AT para múltiples sectores, posicionándose como experta en la transformación digital de la gestión de la energía y la automatización [115].

MESA trabaja con las principales compañías eléctricas del país en el desarrollo de equipos y soluciones inteligentes e innovadoras para el mercado. La firma especializada en celdas de distribución primaria y secundaria (Figura 52), fusibles de MT, seccionadores y pantógrafos de AT y equipos de distribución aérea MT es un proveedor estratégico para las subestaciones de la alta velocidad y pionera en el desarrollo de soluciones para parque eólicos y redes inteligentes.



Figura 52. Celda tipo CBGS-0 de MESA [115]

El nuevo modelo energético al que aspira llegar MES está basado en 4 pilares: más electrificación, más renovables, más eficiencia energética y más flexibilidad en la demanda. A principios de 2022, la compañía anunciaba la instalación de la primera *microgrid* industrial en su planta de Puente la Reina [116].

Ormazabal:

Ormazabal es una compañía experta en soluciones eléctricas, personalizadas y de alta tecnología, cuyos productos y servicios están orientados a digitalizar la red eléctrica para integrar mayor generación de energía renovable, posibilitar una movilidad más sostenible y garantizar el suministro eléctrico a edificios e infraestructuras con necesidades críticas de energía [117].

La empresa diseña y fabrica una gran variedad de productos (celdas de distribución primaria y secundaria, transformadores (Figura 53), cuadros de BT, centros prefabricados, protección y automatización, BIM, etc.) para los siguientes segmentos de negocio: *Smart & Digital Grids*, *Green generation & storage*, *Green Mobility* y *Sustainable buildings & infrastructures* [118].



Figura 53. Transformador inteligente de Ormazabal [118]

Arteche:

Arteche es una empresa multinacional que desarrolla equipos y soluciones para el sector eléctrico, incluyendo generación, transmisión y distribución [119].

La unidad de negocio *Smart Grid* de la compañía diseña y fabrica productos de alto rendimiento y soluciones que facilitan la gestión operativa de subestaciones y sistemas eléctricos de potencia en compañías eléctricas, ingenierías, industrias y grandes consumidores de electricidad.

Arteche ofrece equipos de protección, control y automatización de redes eléctricas, principalmente en AT y MT (Figura 54): bancos de capacitores y filtros de armónicas, sensores de MT, sistemas de automatización de subestaciones, relés, seccionadores, etc. [120]



Figura 54. Restaurador trifásico *smart* de Arteché [120]

9.7 Electrónica de potencia y almacenamiento

En este subapartado se definirá la actividad de AEG POWER SOLUTIONS, JEMA ENERGY, CAF POWER & AUTOMATION, LUMIKER, ZIGOR, INGETEAM, EPOWERLABS, ELECTROTAZ y CEGASA, todas ellas compañías con sede en el País Vasco que operan en el campo de la electrónica de potencia y almacenamiento dentro de la cadena de valor de las redes eléctricas inteligentes.

AEG POWER SOLUTIONS:

AEG POWER SOLUTIONS Ibérica centra su actividad en el suministro de energía eléctrica para entornos industriales e infraestructuras críticas, mediante productos y soluciones de alimentación ininterrumpida (SAI) en los campos de electrónica de potencia para todo tipo de aplicaciones, como el almacenamiento y conversión de energía asociada a todo tipo de procesos industriales [121].

AEG POWER SOLUTIONS Ibérica pertenece al grupo AEG y, en la actualidad, sus principales productos son sistemas SAI trifásicos y monofásicos, sistemas CC, sistemas de telecomunicaciones de CC, sistemas de inversor, módulos de CC, adaptadores y sistemas de integración de renovables, soluciones de supervisión y baterías [122].

La compañía ha participado en un proyecto húngaro de *Smart Grid*, donde ha instalado sus convertidores de almacenamiento (Figura 55), con el objetivo de satisfacer todas las

necesidades energéticas del área del centro deportivo urbano con varios sitios deportivos [123].



Figura 55. Convertidores de almacenamiento de AEG [123]

JEMA ENERGY:

JEMA ENERGY es una compañía tecnológica con 65 años de experiencia en la innovación, el diseño y la fabricación de sistemas personalizados de conversión energética [124].

JEMA ENERGY, que forma parte del Grupo IRIZAR se centra en 3 áreas de negocio: electromovilidad; energías renovables y almacenamiento de energía; aceleradores de partículas y fusión nuclear [125].

Concretamente, en el área de las redes eléctricas, la empresa ofrece sistemas de carga a medida (soluciones llave en mano con gestión de carga centralizada y supervisión a distancia), inversores solares (Figura 56), sistemas llave en mano y sistemas BESS para minimizar el impacto de la energía variable en las redes eléctricas.



Figura 56. Inversores solares de JEMA ENERGY [125]

JEMA ENERGY destaca por la aplicación de la electrónica inteligente a autobuses eléctricos, que ofrece nuevas funciones y realiza diagnósticos del vehículo, además de monitorizar los módulos de baterías para la gestión de carga [126].

CAF POWER & AUTOMATION:

CAF POWER & AUTOMATION, perteneciente al Grupo CAF, es una firma especializada en soluciones de potencia, control y electrónica para vehículos ferroviarios: sistemas de tracción eléctrica, sistemas de optimización energética y sistemas de control y comunicación, etc. [127].

Destaca su proyecto de implantación de semiconductores con tecnología de carburo de silicio de tracción eléctrica (Figura 57) en el servicio de trenes de cercanías de Euskotren, que logró reducir un 7% el consumo energético en el primer año en funcionamiento. Gracias al uso de este material, los componentes resonantes de los circuitos de conversión de potencia, como las bobinas, pueden alcanzar velocidades de conmutación superiores, aumentando así la eficiencia, y siendo capaces de gestionar más potencia o necesitar menos refrigeración [128].



Figura 57. Semiconductores con tecnología de carburo de silicio de CAF [128]

LUMIKER:

LUMIKER nace con el objetivo de desarrollar nuevos productos de diagnóstico, predicción y monitorización avanzada basados en fibra óptica y *signal processing (cloud)* para el sector eléctrico fundamentalmente, aunque también para el aeronáutico, infraestructuras o industria en general [129].

Los sistemas de electrónica que LUMIKER desarrolla para sus clientes persiguen obtener medidas en tiempo real de la red eléctrica, a través de la gestión de activos mediante sistemas de fotónica (Figura 58) que permiten una digitalización *end to end*.

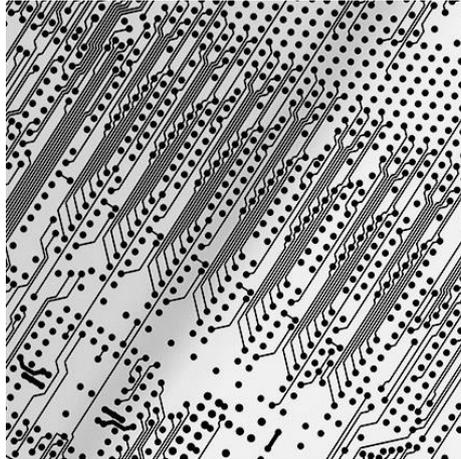


Figura 58. Sistemas de fotónica de LUMIKER [129]

En el ámbito de las *Smart Grids*, la compañía está trabajando en firmware para la ampliación de funciones de circuitos integrados, electrónica llave en mano, *software* de Interoperabilidad o Control, desarrollo de *Digital Twins* de Activos Energéticos con opción de realizar simulaciones avanzadas y Soluciones de digitalización de activos desde la captación de variables de operación con soluciones innovadoras de monitorización [130].

ZIGOR:

ZIGOR o ZGR Corporación es una compañía nacida en 1995 en Vitoria cuya tecnología permite alcanzar estabilidad en el suministro energético mediante aplicaciones y usos del almacenamiento de electricidad en baterías [131].

ZIGOR trabaja en el sector energético, donde se centra en aplicaciones fotovoltaicas, plantas de generación, sistemas de autoconsumo (industrial y residencial), microrredes y almacenamiento para apoyo a la generación y servicios de regulación [132].

Asimismo, en el área de las redes eléctricas, ZIGOR ofrece fuentes de alimentación con baterías en corriente continua para garantizar el suministro en las subestaciones. La empresa también desarrolla e instala sistemas de almacenamiento para servicios de regulación de la red de distribución eléctrica (Figura 59).



Figura 59. Fabricación de cargadores inteligentes de ZIGOR [132]

Finalmente, la compañía fabrica sistemas de alimentación ininterrumpida convencionales (SAI) para oficinas y residencias, además de sistemas para grandes consumidores industriales (SEPEC), con el objetivo de contar con electricidad de alta calidad exenta de perturbaciones e interrupciones [133].

INGETEAM:

INGETEAM es un grupo empresarial con más de 80 años de experiencia especializado en la conversión de energía eléctrica: desarrolla principalmente equipos de electrónica de potencia, electrónica de control, motores, generadores eléctricos, bombas y motores sumergidos e ingeniería eléctrica para los sectores de energía, industria, naval y tracción ferroviaria [134].

En el sector de las *Smart Grids*, INGETEAM diseña, fabrica y suministra productos y servicios de control, protección y medida para la automatización de subestaciones, con el fin de digitalizar la red de transporte y distribución (Figura 60).

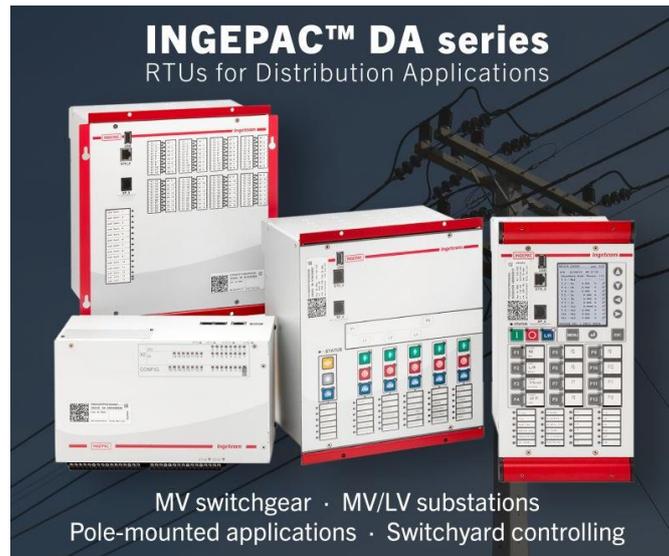


Figura 60. INGETEAM *Smart Grids* [134]

Asimismo, ofrece soluciones basadas en electrónica de potencia, y máquina rotativa (compensadores síncronos), dirigidas a la mejora de la calidad de energía, continuidad de suministro, optimización de la operación y mayor estabilidad del sistema eléctrico [135].

El Grupo ha automatizado y protegido 9.000 subestaciones eléctricas de transmisión y distribución hasta la fecha. Además, ha integrado más de 31 GW de potencia renovable a la red a través de sus equipos, disponiendo de 3 GWh acumulados en instalaciones de almacenamiento eléctrico.

Por otra parte, ha fabricado más de 24.000 cargadores para vehículo eléctrico y 700 equipos para trenes eléctricos.

CEGASA:

La actividad de CEGASA, compañía fundada en 1934, está centrada en el desarrollo de pilas industriales de Zinc-aire, baterías de Litio-ion (Figura 61) y soluciones para el almacenamiento energético en servicios de movilidad y aplicaciones estacionarias industriales [136].



Figura 61. Baterías ion-litio de CEGASA [136]

La compañía utiliza herramientas de digitalización y *machine learning*, así como sistemas de monitorización, gestión y control, tanto a nivel de *Battery pack* como de sistemas complejos de varios MWh. Gracias a dichos sistemas, implementados tanto en el dispositivo físico, como en la nube, CEGASA optimiza la vida de sus productos.

9.8 Equipos de protección, automatización, control y comunicación

A continuación, se repasarán brevemente los principales actores que fabrican equipos de protección, automatización, control y comunicación en el País Vasco, es decir, INGETEAM, Ormazabal, Artech, ARIADNA GRID, SoC-e, Industrias Pinazo, Uriarte Safybox, ZIV, GENERAL ELECTRIC, PRONUTEC, HYDAC y ENERMETRIK SOLUTIONS. Se caracterizarán de forma concisa aquellas firmas que no hayan sido mencionadas a lo largo del documento.

System-on-Chip engineering (SoC-e):

La pyme System-on-Chip engineering (SoC-e), ubicada en Erandio, centra su actividad en el ámbito de la electrónica de circuitos reconfigurables (Figura 62), dentro del cual ha desarrollado su propia tecnología para la comunicación, sincronización y ciberseguridad de sistemas críticos [137].



Figura 62. Circuitos de System-on-Chip engineering [137]

En los campos de la automatización industrial, las protecciones eléctricas o las *Smart Grids*, la empresa está desarrollando una plataforma de *hardware* basada en FPGA, es decir, circuitos integrados digitales programables, que permitan implementar de forma escalable y flexible los nuevos estándares que se están adoptando sobre soporte físico Ethernet [138]. De esta forma, se implementará en estos campos una solución con un permite obtener sincronizaciones por debajo del microsegundo entre sistemas conectados a través de LAN convencional.

Industrias Pinazo:

Industrias Pinazo es una empresa centrada en la fabricación de envolventes de poliéster reforzado de fibra de vidrio (Figura 63) y montaje de equipos de protección, medida y distribución de energía eléctrica [139].



Figura 63. Armario de medida directa de Industrias Pinazo [139]

La compañía desarrolla equipos de protección y medida destinados al suministro eléctrico y a aplicaciones fotovoltaicas, accesorios de material eléctrico, accesorios de puesta a tierra y accesorios de instalaciones eléctricas, cuadros de obra, cuadros de BT para CTs, cajas y centros de mando para el alumbrado público, equipos de medida para recarga de VEC y bases portafusibles.

Uriarte Safybox:

Uriarte SafyBox, fundada en 1972 y perteneciente al Grupo Uriarte Enclosures, se dedica a fabricar envolventes de poliéster reforzado de fibra de vidrio para equipos de electricidad, agua, gas, telecomunicaciones, plantas fotovoltaicas, instalaciones ferroviarias e infraestructuras subterráneas [140].

Dentro del sector eléctrico, la empresa desarrolla cajas y armarios para BT y MT, cuadros de distribución, conjuntos individuales de medida, cajas de protección y medida para contadores eléctricos, pequeños gabinetes monofásicos y trifásicos, armarios de exterior AT, etc. Asimismo, dentro del ámbito fotovoltaico, ofrece gabinetes para inversores, cajas de medición, protección y distribución; gabinetes de Monitoreo y cajas para seguidores solares.

La compañía lanzó hace una década su modelo SafyBox SMS (*Smart Metering System*, Figura 64), que consiste en un sistema modular aislante de centralización de contadores electrónicos, diseñado para optimizar las *Smart Grids* y el *Smart Metering* [141].



Figura 64. Envolventes modulares para contadores de Uriarte SafyBox [141]

ZIV:

Dedicado al sector eléctrico y las *Smart Grids*, ZIV es una compañía vizcaína fundada en 1994, experta en el campo de las protecciones eléctricas y sistemas de control y medida [142].

ZIV desarrolla soluciones *Smart Grids* a nivel mundial en los siguientes campos [143]:

- Sistemas de Automatización de Subestaciones (SAS / SIPCO)
- Equipos y sistemas integrados de monitorización, protección, control y comunicaciones
- Soluciones para automatizar la red de MT y BT:
 - o Automatización de la red de MT: RTUs, equipos multifunción, sensores
 - o Sistemas para supervisar la red de BT
 - o Equipos de comunicación: *networking* para CT, acopladores, filtros y comunicaciones por PLC
- Soluciones Inteligentes de Medida:
 - o Contadores inteligentes (Figura 65)
 - o Concentradores de datos
 - o Armarios y Accesorios



Figura 65. Contadores inteligentes de ZIV [143]

ENERMETRIK SOLUTIONS:

ENERMETRIK SOLUTIONS es una *startup* cuya misión consiste en gestionar el consumo de energía de las industrias y administraciones a través de un *software* propio

y a través de la implementación de medidas para su optimización, además de contar con ingeniería propia para realizar instalaciones solares fotovoltaicas para autoconsumo [144].

La solución de ENERMETRIK SOLUTIONS (Figura 66) es un gestor energético integral que, mediante el *Big Data* y la algoritmia predictiva es capaz de gestionar la energía en tiempo real de forma inteligente y a todos los niveles, detectando ahorros en el consumo, la potencia contratada y la energía reactiva [145].



Figura 66. Representación gráfica del servicio de Gestión Energética de ENERMETRIK SOLUTIONS [145]

9.9 Contadores inteligentes y equipos de medida

Las empresas con sede en el País Vasco que dedican parte de su negocio al área de contadores inteligentes y equipos de medida son LUMIKER, Uriarte Safybox, ACLARA METERS, Artech, INGETEAM, MERYTRONIC y ZIV. Seguidamente se definirá la actividad de MERYTRONIC, ya que es la única compañía que no se ha mencionado a lo largo del trabajo.

MERYTRONIC:

MERYTRONIC es una empresa de diseño y fabricación de equipos electrónicos para monitorización, identificación y trazado de redes eléctricas de distribución [146].

Integrada dentro del grupo GORLAN, la compañía diferencia, entre otras, las siguientes aplicaciones para sus productos y servicios:

- Equipos de digitalización de redes eléctricas (topología de red)
- Sistemas de monitorización de Redes de BT (*Smart Grids*)
- Mantenimiento de redes de distribución eléctrica
- Seguridad eléctrica
- Digitalización de redes de tuberías para *Oil&Gas*

Haciendo hincapié en las *Smart Grids*, los productos estrella de MERYTRONIC son el sistema de monitorización a nivel de línea (Figura 67), el sistema de monitorización a nivel de transformador y la analítica de datos (*Ariadna Smart IoT Platform*).



Figura 67. Sistema de monitorización de MERYTRONIC [146]

9.10 Ensayos y certificaciones de equipos electrónicos

En Euskadi existen dos compañías que se encargan de realizar ensayos y certificaciones de equipos electrónicos, principalmente: TECNALIA y BUREAU VERITAS.

TECNALIA:

Fundado en 2011, TECNALIA es un Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico referente en Europa, cuya misión es transformar la tecnología en PIB [147].

Esta corporación tecnológica, que opera en sectores muy variados, cuenta con laboratorio de *Smart Grids* (Figura 68) en sus instalaciones en Derio. En él, no solo ofrece servicios de evaluación de conformidad y certifica equipos, sino que también alquila el laboratorio y supervisa ensayos para fabricantes que requieren de una instalación de tercera parte para verificar sus desarrollos [148].



Figura 68. Laboratorio de *Smart Grids* de TECNALIA [148]

Igualmente, TECNALIA dispone de un laboratorio de redes eléctricas inteligentes y generación distribuida, que se basa en una microrred trifásica de BT para desarrollar y ensayar equipos para la integración de recursos energéticos distribuidos en la red. Asimismo, dispone de un sistema de control para la optimización de su operación [149].

BUREAU VERITAS:

BUREAU VERITAS es una compañía global de servicios de ensayo, inspección y certificación con casi dos siglos de trayectoria. La compañía ofrece sus servicios en calidad, salud y seguridad, medio ambiente, transporte, seguridad de la información, responsabilidad social, etc. [150].

La compañía multinacional asegura la calidad de los equipos electrónicos, garantizando que pueden ser comercializados en la Unión Europea al cumplir con ciertos requisitos que acreditan al fabricante [151].

Por ejemplo, BUREAU VERITAS se encarga de verificar que los equipos electrónicos obtienen la certificación IEC 62443-4-1 (Figura 69), que hace referencia a estándares de ciberseguridad. Este estándar IEC 62443 define el ciclo de vida para desarrollar y mantener seguros aquellos productos que se utilizan en sistemas industriales de automatización y control [152].



Figura 69. Certificación IEC 62443-4-1 de BUREAU VERITAS [151]

9.11 Agentes de conocimiento e I+D en tecnología de redes eléctricas

Finalmente, el País Vasco cuenta con una red consistente de agentes de conocimiento e I+D en tecnología de redes eléctricas, que se distribuyen en las siguientes instituciones: TECNALIA, CIC energigUNE, LORTEK, CIDETEC, TEKNIKER, IKERLAN, VICOMTECH, UPV/EHU, DeustoTech. En las siguientes líneas se comentará en líneas generales el campo de actuación de cada uno de ellos, en caso de no haber hecho mención anteriormente en el documento.

CIC energigUNE:

CIC energigUNE es un centro de investigación para el almacenamiento de energía electroquímica y térmica que surge en 2011 como iniciativa estratégica del Gobierno Vasco. Su principal objetivo es generar investigación en materiales y sistemas de almacenamiento de energía, maximizando el impacto en resultados al tejido empresarial de Euskadi, a través de la colaboración con universidades, otros centros de investigación y empresas privadas [153].

En el ámbito de *Smart Grids*, destacan dos tecnologías de almacenamiento, fundamentalmente. En primer lugar, para aplicaciones de almacenamiento estacionario se desarrollan baterías de sodio como alternativa a las baterías de litio-ion del mercado, debido al bajo coste y buena ciclabilidad del sodio, lo que las hace muy indicadas a futuro en el área de *Smart Grids*. A nivel de VE, CIC energigUNE trabaja con

tecnología Li-S y electrolitos sólidos (cerámicos y poliméricos). El electrolito solido proporciona más seguridad y mejor comportamiento a altas temperaturas.

El centro apuesta firmemente por equipos integrados en las *Smart Grids*, capaces de realizar procesos de autodiagnóstico a través de la recopilación de datos, explotando las posibilidades que brinda en almacenamiento de energía tanto a nivel de generación distribuida, a nivel de transporte y distribución y a nivel del consumidor [154].

LORTEK:

LORTEK es un Centro Tecnológico privado que genera conocimiento en procesos de fabricación y su digitalización con el objetivo de transferirlo al tejido industrial y así mejorar su competitividad, impacto medioambiental y sostenibilidad.

El organismo centra su actividad en las siguientes tecnologías de digitalización [155]:

- Control y robótica: sensórica, automatización y robótica
- Análisis de datos: procesamiento, análisis de datos e inteligencia artificial (Figura 70)
- Visión artificial: inspección 3D, termografía, visión
- TICs: plataformas digitales, HMI

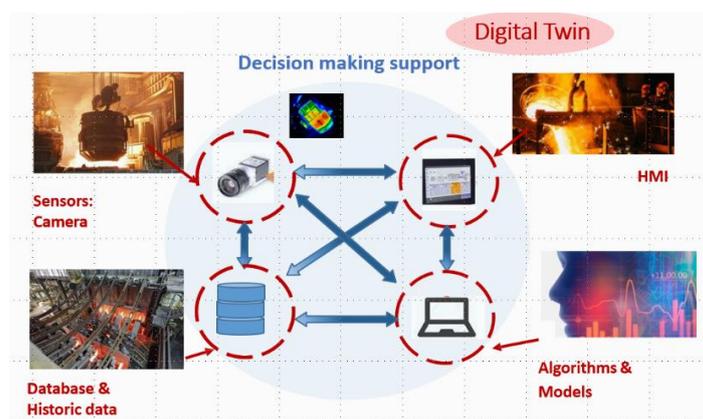


Figura 70. Gemelo digital de LORTEK [155]

CIDETEC:

CIDETEC es una organización de investigación aplicada en Ingeniería de Superficies, Nanomedicina y Almacenamiento de Energía. En este último, cubre toda la cadena de valor: desde la química de las baterías hasta la aplicación final de las mismas [156].

En sus instalaciones (Figura 71), el centro se dedica a diseñar y desarrollar celdas, módulos y *battery packs* a medida, testear y caracterizar baterías, modelizar y predecir su duración con perfiles de uso específicos, así como a dimensionar diferentes sistemas, ofreciendo servicios tecnológicos de validación de materiales, fabricación en planta piloto, ingeniería de baterías y ensayos en colaboración directa con compañías, con la intención de transferir esta tecnología a la industria.



Figura 71. Testeo y caracterización de baterías en CIDETEC [156]

CIDETEC se centra en el almacenamiento en baterías litio-ion, baterías de estado sólido y optimización de plantas de almacenamiento, aplicado a los sectores de transporte electrificado, el sector de la energía en general (especial en las EERR y las *Smart Grids*) y el sector de los materiales [156].

TEKNIKER:

El centro tecnológico TEKNIKER está especializado en Fabricación Avanzada, Ingeniería de Materiales y Superficies, y TICs para fabricación, cuya actividad se centra en contribuir a incrementar la capacidad de innovación del tejido industrial para mejorar su competitividad.

Entre su oferta variada, TEKNIKER desarrolla soluciones para el sector de las energías renovables, entre las que destacan las tecnologías de control, operación y mantenimiento optimizado de plantas solares fotovoltaicas mediante una aproximación a la Industria 4.0 (sensores ad hoc, inspección automática en campo, análisis *Big Data* y

controles avanzados), la mejora de la O&M y la automatización de procesos. Asimismo, el centro desarrolla soluciones de almacenamiento y eficiencia energética.

ad hoc investiga asimismo en ingeniería de sistemas ciberfísicos, donde se aúnan las capacidades de computación, almacenamiento y comunicación y las capacidades de seguimiento y control de objetos físicos. Generalmente, los sistemas ciberfísicos están conectados entre sí y conectados con el mundo virtual de las redes digitales globales [157].

IKERLAN:

Desde 1974, IKERLAN transfiere tecnología y aporta valor competitivo a la industria del País Vasco. El centro tecnológico proporciona soluciones integrales en dos grandes áreas: Tecnologías de Electrónica, Información y Comunicación (TEIC), y Energía y Mecatrónica [158].

La primera línea de actuación engloba las áreas de ciberseguridad industrial (Figura 72), Sistemas Embebidos Confiables, TIC Sistemas HW y de comunicación, mientras que la segunda línea de investigación se centra en la electrónica de potencia, el almacenamiento y la gestión de energía y la movilidad eléctrica.



Figura 72. Laboratorio de ciberseguridad industrial de IKERLAN [158]

UPV/EHU:

La Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea cuenta con un Grupo de Investigación en Electrónica Aplicada (APERT) en la Escuela de Ingeniería de Bilbao

que está formado principalmente por profesores e investigadores del Departamento de Tecnología Electrónica [159].

Sus líneas de investigación se centran en dos campos: los circuitos reconfigurables y *Systems-on-chip* y los circuitos de potencia y control para convertidores de energía (Figura 73).



Figura 73. Laboratorio de electrónica de la UPV/EHU [159]

La primera de ellas se basa en la integración de sistemas digitales en un único circuito, aprovechando la capacidad de reconfiguración de estos dispositivos y aplicándolos a circuitos digitales de comunicaciones y circuitos digitales para industria 4.0.

La universidad investiga la seguridad y la fiabilidad en las comunicaciones digitales; arquitecturas redundantes para aplicaciones de alta fiabilidad; módulos de procesamiento a alta velocidad; sistemas digitales reconfigurables integrados en un chip que ofrezcan soluciones a aplicaciones concretas que demanden comunicaciones seguras y técnicas de diseño de alto nivel de equipos de red basados en las nuevas plataformas reconfigurables; la interconexión y sincronización de dispositivos de fabricantes diferentes, la captura y transmisión de datos de alto valor añadido, etc.

Por otra parte, en la segunda línea, la UPV/EHU diseña y estudia el comportamiento de sistemas electrónicos de potencia utilizados en el proceso de generación, transformación y almacenamiento de energía eléctrica. Para ello, analiza alternativas de convertidores avanzados distintas a las utilizadas tradicionalmente, por ejemplo, en el caso del control de microrredes eléctricas. Actualmente hay investigaciones dirigidas a mejorar la electrónica para el sistema de propulsión e infraestructura de carga del vehículo eléctrico.

Igualmente, el Grupo de investigación sobre líneas y redes eléctricas – ELEKTRIKER [160] tiene como objetivo global contribuir al desarrollo de la investigación en dos líneas de investigación interrelacionadas: la aplicación de los sistemas de monitorización de ampacidad en la operación de las redes eléctricas y las estrategias de gestión para comunidades energéticas locales.

Además, dentro del amplio campo de investigación en Ingeniería Eléctrica, el Grupo de Investigación en Sistemas de Energía Eléctrica (GISEL) centra su actividad, principalmente, en tres líneas de investigación [161]:

- Integración de Energías Renovables en el Sistema Eléctrico, FACTS y HVDC
- Microrredes, Vehículo Eléctrico y SmartGrids
- Protección de Sistemas Eléctricos

DeustoTech:

La misión de DeustoTech - Instituto Tecnológico Deusto, centro integrado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Deusto, es contribuir en la transformación tecnológica y digital de la sociedad y el tejido empresarial mediante la investigación en las áreas de electrónica, informática y comunicaciones.

La universidad dispone de ocho equipos de investigación que trabajan en líneas de TIC aplicada a computación distribuida y descentralizada, movilidad eléctrica inteligente, inteligencia computacional aplicada y eficiencia energética, entre otros [162].

Además, a través del proyecto ENERGOS, DeustoTech busca avanzar en la implantación de *Smart Grids* (Figura 74) mediante el desarrollo de tecnologías para la creación de nuevos entornos de operación de red, la gestión activa de la demanda, la optimización de operaciones, el tratamiento de datos, las infraestructuras para la recarga de VE y la supervisión y el control de microrredes [163].

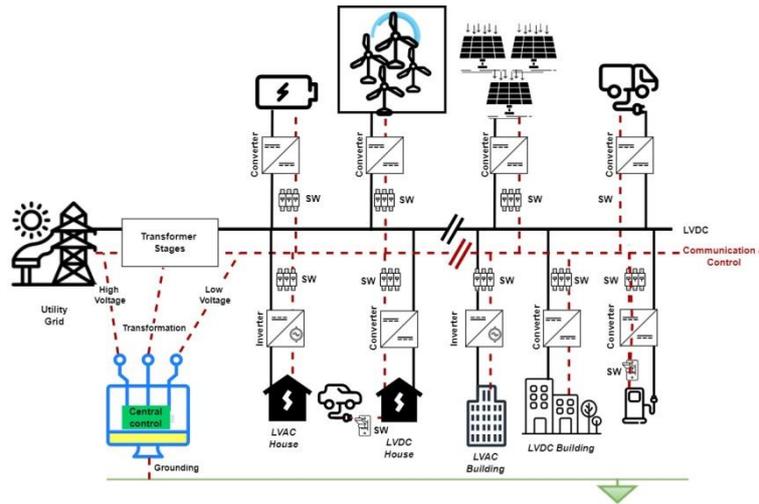


Figura 74. DeustoTech *Smart Grids* [163]

9.12 Proyectos *Smart Grid* en Euskadi

Una vez observado con detenimiento el conglomerado de empresas de redes eléctricas con sede en el País Vasco cabe resaltar la fortaleza del tejido industrial eléctrico y tecnológico del territorio en conjunto, que persigue posicionarse como referente mundial en el ámbito de las *Smart Grids*.

Se han llevado a cabo numerosas iniciativas y proyectos de desarrollo de sistemas *Smart Grids* en Euskadi, especialmente a lo largo de los últimos años, pero en este apartado se destacarán únicamente dos de ellos, debido a su ejecución y sus resultados obtenidos: Bidelek Sareak y Global *Smart Grids* Innovation Hub.

9.12.1 Bidelek Sareak

Bidelek Sareak es un proyecto de despliegue de una red eléctrica inteligente en Euskadi entre los años 2011 y 2016, llevado a cabo por parte del Gobierno Vasco, a través de la inversión de i-DE en un 54% (líder el proyecto en su dimensión tecnológica, soporte financiero y entrega de activos para el despliegue de nuevos equipos) y el Ente Vasco de la Energía en un 44% (soporte financiero, experiencia en eficiencia energética e

impulso del desarrollo tecnológico energético, y mejoras para la gestión de la demanda de los usuarios finales) [164].

La iniciativa tuvo un presupuesto de 60 millones de euros y en ella participaron numerosas empresas y entidades de la cadena de valor presentada anteriormente, como se puede observar en la Figura 75.



Figura 75. Proveedores de Bidelek Sareak [165]

A lo largo de 5 años de trabajo se sustituyeron 230.000 contadores inteligentes en el País Vasco, se configuraron 1.100 centros de transformación con servicios de telegestión, supervisión y automatización, se instalaron 132 órganos de corte de red (OCRs) en la red aérea y se integraron 3 subestaciones rurales de AT completamente automatizadas y conformes al estándar IEC 61850 (Figura 76) [166].



Figura 76. Exposición y demo de productos y desarrollos tecnológicos abordados en Bidelek Sareak [166]

Como resultado del despliegue del proyecto, se obtuvo una mejora de la operación de la red al impulsar su modernización: aumentó la calidad del suministro eléctrico gracias a su capacidad para detectar y aislar problemas. Asimismo, se logró dotar a los consumidores de una herramienta para la gestión eficiente de sus consumos y de su facturación. Bidelek Sareak también promovió la integración de las energías renovables, la cogeneración, y la red de recarga del VE en la red eléctrica [167].

A lo largo del proyecto se impulsó la innovación de hasta 45 equipamientos y aplicaciones para las distintas áreas, entre las que se encuentran las siguientes [168]:

- La elaboración de especificaciones basadas en estándares abiertos permitió realizar la implementación y mejora continua de los equipos electrónicos y sensórica de MT desplegada en la *Smart Grid*, inteligente promoviendo la competencia entre agentes tecnológicos.
- Se idearon nuevas funcionalidades embebidas en los equipos con el fin de transmitir mayor cantidad de mejor calidad de información para detectar incidentes, mejorar la seguridad de la red, y facilitar la toma de decisiones, lo que conlleva elevar la calidad de suministro.
- Se logró una automatización de los sistemas hasta alcanzar una operación autónoma de los mismos de forma inteligente, sin intervención de los operarios para restablecer el suministro, dotándoles de capacidad para realizar configuraciones remotas de los equipamientos en campo.
- Las soluciones de comunicación presentadas en las áreas del PLC y la fibra óptica fueron vitales para aumentar el rango de posibilidades de enlace con los equipos en campo.
- Se ha abordó la frontera de la BT a través del desarrollo de tecnología específica que aporta información del estado de las líneas. Esta información se trasladó a un entorno de gestión de la BT, permitiendo experimentar con nuevas formas de operación y gestión de la red.
- Finalmente, se ha incorporó una serie de aplicaciones web donde los consumidores pueden obtener información de sus consumos en tiempo real, acceder a históricos y herramientas de análisis de la eficiencia energética.

En definitiva, esta colaboración público-privada ha contribuido a impulsar el desarrollo tecnológico de la industria vasca de bienes de equipo y a posicionarse como modelo a implantar en mercados nacionales e internacionales.

9.12.2 Global Smart Grids Innovation Hub

Global *Smart Grids* Innovation Hub es un espacio de colaboración público-privado con más de 1.000 m² ubicado en la sede de redes de Iberdrola (Figura 77), en Larraskitu, que surge en 2021 con el objetivo de acelerar la innovación y la I+D+i en el ámbito de las redes inteligentes [169].



Figura 77. Laboratorio de desarrollo de proyectos del *Global Smart Grids Innovation Hub* [169]

La iniciativa de Iberdrola impulsada junto a la Diputación Foral de Bizkaia, que agrupa a más de 200 profesionales en el desarrollo de proyectos de las redes eléctricas, persigue duplicar los proyectos de innovación en redes inteligentes, afianzando el modelo actual de colaboración con fabricantes de equipos eléctricos. Para ello, Iberdrola identificó desde el inicio más de 120 proyectos para su futuro desarrollo por valor de 130 millones de euros [170].

El centro de la compañía energética tiene carácter global y promueve la comunicación y la atracción de talento con agentes internacionales (Figura 78) a para desarrollar productos industrializables que se puedan instalar en las redes eléctricas de distribución de todo el mundo.

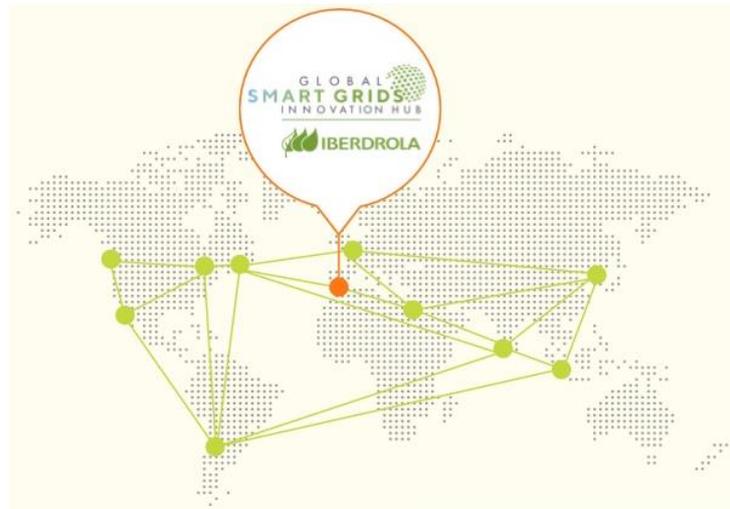


Figura 78. Ubicación de los agentes participantes en *Global Smart Grids Innovation Hub* [170]

En la actualidad, se han alcanzado acuerdos con más de 91 socios tecnológicos para el desarrollo de soluciones en las siguientes líneas estratégicas del *Global Smart Grids Innovation Hub*, entre otras [170]:

- Equipar las infraestructuras de red de forma que permitan el desarrollo de procesos digitales para ofrecer un mejor servicio a los consumidores.
- Promover la eficiencia de las redes de distribución a través de la integración de tecnologías como la IA, la realidad aumentada y los gemelos digitales.
- Incorporar nuevas funcionalidades en las instalaciones con el fin de aumentar la seguridad de los trabajadores con el empleo de robots y drones.
- Facilitar la conexión de nuevas soluciones a la red que permitan la operación flexible y apoyen la electrificación masiva.
- Proporcionar apoyo a la innovación en este tejido tecnológico que permita a aumentar la resiliencia y seguridad de la red.

Algunos de los proyectos innovadores surgidos del *Global Smart Grids Innovation Hub*, que se basan en la digitalización de la red de BT a través del desarrollo de una nueva generación de contadores inteligentes y cuya viabilidad ya se ha demostrado, son la sustitución de los actuales ‘haces’ de cables de control por ‘buses’ de datos compartidos, el uso de robots para monitorización remota en subestaciones transformadoras, así como el empleo de gafas de realidad virtual para labores de

visualización de infraestructuras eléctricas, la detección de incendios bajo líneas a través de la IA y la introducción del "*big data*" para beneficio de los consumidores [171].

10. RESULTADOS

A continuación, se presenta una propuesta de nueva cadena de valor de redes eléctricas inteligentes para empresas del País Vasco en vista de las tendencias actuales y las previsiones del desarrollo del sector de cara al futuro. En base a esta propuesta, se pretende alcanzar un estado de preparación frente a los retos de las *Smart Grids* del futuro, teniendo en cuenta tanto la aparición de nuevos agentes, como la integración de nuevas herramientas que requieren discernir hacia dónde se dirige el sector para desarrollar tecnología propia.

Se han redefinido los siguientes agentes dentro de la nueva cadena de valor:

- Intermediarios energéticos del sistema
- Servicios de Diseño, Ingeniería y Consultoría
- Montaje, mantenimiento y servicio post-venta
- Servicios orientados al cliente y participación del nuevo consumidor
- Proveedores de TIC, Análisis y Gestión de Datos
- Equipos digitales avanzados de protección, automatización, control y comunicación en AT/MT
- Equipos y dispositivos inteligentes de medida y gestión
- Electrónica de potencia y almacenamiento
- Ensayos y certificaciones de equipos
- Agentes de conocimiento e I+D en tecnología de redes eléctricas inteligentes

A continuación, se incluye una breve caracterización de cada uno de los nuevos segmentos de mercado propuestos, justificando de este modo su validez.

10.1 Intermediarios energéticos del sistema

El primer cambio en la nueva cadena de valor tiene lugar en este subapartado. A diferencia de la anterior versión, este título engloba tanto a los operadores de red como a otros agentes involucrados en el suministro energético, como los operadores del sistema de distribución (que constituyen una evolución del operador de red de distribución

tradicional) o nuevas figuras que surgirán del despliegue de las *Smart Grids*, tales como el Agregador de Demanda Independiente o las *Virtual Power Plants*.

La red inteligente es disruptiva y crea nuevas oportunidades de negocio no sólo dentro de la cadena de valor, sino también para los proveedores de tecnología y servicios de red. Por ejemplo, en algunos mercados, los agregadores de respuesta a la demanda se están convirtiendo en intermediarios entre la empresa de servicios públicos y sus clientes. En otros, las empresas de tecnología de red están considerando la posibilidad de convertirse en operadores de microrredes, un papel que las sitúa en competencia con las empresas de distribución, según PwC [173].

Se ha redefinido este apartado de intermediarios energéticos del sistema, incluyendo a más figuras (englobadas en la Tabla 2), con el objetivo de resaltar la importancia que van a cobrar a lo largo de los próximos años.

Tabla 2. Nuevas figuras de intermediarios energéticos del sistema. Fuente: Elaboración propia (2023)

Nueva figura	Función principal
Agregador de Demanda Independiente	Flexibilizar sistema eléctrico al incorporar agrupaciones de clientes pequeños
<i>Virtual Power Plants</i>	Gestionar de forma colectiva la demanda energética y evitar interrupciones de red
Operadores del Sistema de Distribución	Evolución del operador de red de distribución tradicional: Desarrollo y O&M de la red de distribución, gestión e integración de generación renovable, demanda eléctrica, baterías, recarga del vehículo eléctrico, gestión de picos de demanda

La primera de ellas, el Agregador de Demanda Independiente, surge como herramienta para dotar de flexibilidad al sistema eléctrico desde el lado de la demanda, situando al

consumidor como un sujeto plenamente activo en la estructura del mercado eléctrico. A falta del desarrollo de su régimen jurídico, se prevé que el Agregador de Demanda Independiente posibilite la incorporación de agrupaciones de diferentes clientes pequeños, incluyendo a consumidores y autoconsumidores, para que participen en los mercados de forma conjunta, comprometiéndose a variar sus consumos y/o su producción en momentos determinados a cambio de una retribución económica [172].

Por su parte, la figura de las *Virtual Power Plants* aparece en el contexto de las microrredes como un grupo de instalaciones generadoras distribuidas que son gestionadas por un único sistema de control o de software. Su finalidad es poder gestionar la demanda de energía de los clientes de forma colectiva y paliar posibles interrupciones en la red.

Respecto a las empresas de distribución, es preciso que evolucionen para pasar de Operadores de la Red de Distribución (DNO) a Operadores del Sistema de Distribución (DSO), es decir, no solo desempeñar labores de desarrollo y O&M de la red de distribución, sino ser capaces de ofrecer servicios flexibles, resolviendo cualquier tipo de restricciones que se pueden presentar, ya sea en forma de capacidad o de despliegue múltiple (gestión e integración de generación renovable, demanda eléctrica, baterías, recarga del vehículo eléctrico,...). Asimismo, se espera que el DSO del futuro desarrolle una red de distribución capaz de gestionar los picos de demanda, integrando soluciones tradicionales de refuerzo de red y soluciones no convencionales de monitorización y automatización, lo que requerirá sin duda una mayor coordinación con el TSO.

10.2 Servicios de Diseño, Ingeniería y Consultoría

El segundo apartado de la nueva cadena de valor de las *Smart Grids* en el País Vasco apenas se diferencia del existente, excepto por la incorporación de las empresas expertas en consultoría en el ámbito de las *Smart Grids*. Se ha decidido añadir este término, ya que se prevé que, a corto plazo, será necesario un acompañamiento y asesoramiento jurídico, técnico y administrativo a múltiples compañías involucradas en el despliegue de las *Smart Grids* en Euskadi, debido a que muchas de ellas (especialmente las PYMES), carecen de los recursos y la formación necesaria para participar activamente en este cambio de modelo hacia la transición energética.

Este acompañamiento y asesoramiento de las consultoras se divide en dos áreas, principalmente:

- Regulación: La consultoría especializada en regulación de redes inteligentes es relevante en la medida en la que la normativa es un tema crítico en el desarrollo de las *Smart Grids*. Se debe tener en cuenta que muchas empresas (especialmente las PYMEs) carecen de un departamento de regulación, por lo que la ayuda de consultoras en esta área supone una gran ayuda.
- Propiedad intelectual y modelos de negocio: Ciertas cuestiones ligadas a las tecnologías de digitalización (desarrollo de algoritmia, software, espacios de datos, etc.) se encuentran aún en un estado donde la propiedad del conocimiento generado y cómo hacer negocio en base a dicho conocimiento resulta aún bastante difusa, por lo que requiere asesoramiento externo (de nuevo, particularmente en el caso de las PYMEs).

10.3 Montaje, mantenimiento y servicio post-venta

En este apartado se incluyen las mismas compañías de montaje y mantenimiento que en la anterior cadena de valor, aunque se incorpora un tercer factor: el servicio post-venta. Este tendrá un papel fundamental en la conservación de las *Smart Grids* a medio y largo plazo, tras su despliegue masivo.

Una vez que la red eléctrica inteligente está en funcionamiento, se debe tener en cuenta no solo la responsabilidad legal sobre el mantenimiento predictivo incorporado a los diferentes sistemas, sino también la responsabilidad sobre la resolución de problemas, la seguridad cibernética y el software embebido en los equipos que, como es lógico, deberá actualizarse cada cierto tiempo para garantizar su rendimiento óptimo y una operación confiable. Esto significa que las empresas que montan y mantienen los equipos también deben ser capaces de proteger la infraestructura ante posibles ataques y de ofrecer un servicio continuo a sus clientes en estas áreas, de forma que los clientes sepan a quién recurrir ante cualquier inconveniente o fallo.

Cabe resaltar que, a medio y largo plazo, ya no se instalarán equipos puramente mecánicos/eléctricos, sino que prácticamente la totalidad de ellos llevará un software o algoritmo incorporado, ya sea del propio fabricante o bien subcontratado a una empresa

externa. En cualquier caso, es vital que se establezcan responsabilidades en la venta del equipo final para que el cliente sepa ante quién debe presentar reclamaciones. Aún no existe un protocolo único en esta área, que todavía es susceptible a debate, aunque recientemente sí se ha apreciado una tendencia a establecer que el vendedor del equipo físico se haga cargo de la totalidad del producto ante el cliente final, software incluido, aunque no haya sido desarrollado por su firma.

10.4 Servicios centrados en el nuevo consumidor

Este apartado ha variado ligeramente el nombre pero mantiene su propósito, que es englobar a todas aquellas compañías que ofrecen soluciones orientadas al cliente teniendo en cuenta la incorporación del consumidor como agente activo en la gestión de su demanda eléctrica, especialmente tras el previsible aumento de los sistemas de autoconsumo y los vehículos eléctricos. La modificación del nombre pretende resaltar que el rol del consumidor tradicional ha cambiado y que los proveedores de servicios deben poner a este nuevo consumidor en el centro.

Las compañías comprendidas en esta etapa desarrollan y ofertan servicios basados en la recopilación y el análisis de datos. Esto puede incluir aplicaciones móviles para que los usuarios controlen su consumo, servicios de gestión de la demanda para equilibrar la carga, y plataformas de gestión para las compañías eléctricas, entre otros.

10.5 Gestión y explotación de datos

La función de este nuevo subapartado de la cadena de valor de las redes eléctricas inteligentes del País Vasco es sustituir y ampliar a aquellas empresas que pertenecían al bloque de “Sistemas digitales, aplicaciones y análisis de datos”, ya que este se estaba quedando obsoleto. La razón del cambio es definir de forma más precisa el tipo de soluciones que estas compañías ofertan, es decir, sistemas y aplicaciones basados en TIC, que sean capaces de analizar y gestionar grandes volúmenes de datos generados de forma continua por diferentes equipos y sistemas interconectados entre sí. Sin embargo, se establece una separación frente a los desarrolladores de equipos digitales, que también son proveedores TIC. La TIC está integrada de forma transversal en toda la

nueva cadena de valor de *Smart Grids* pero este apartado trata de sugerir que, además de trabajar con los datos, estos se explotan y monetizan, es decir, se crea un negocio con ellos.

Una vez que los datos se recopilan de la red y los dispositivos conectados, estas compañías procurarán a otras empresas soluciones de análisis para extraer información relevante para la gestión de la red eléctrica. Esto incluye el análisis de la demanda, la predicción de patrones de consumo y la identificación de problemas en la red para una respuesta rápida. En este contexto surge la pregunta de cómo serán los sistemas físicos que sean capaces de soportar tal cantidad de operaciones de forma continua, por lo que se prevé un gran desarrollo de la industria asociada a los centros de datos, especialmente en los ámbitos de accesibilidad e interoperabilidad de datos e información, así como en el incremento de los requerimientos técnicos, funciones de ciberseguridad, creación de Gemelo Digital, Machine Learning, modelos semánticos, algoritmos, ...

10.6 Equipos digitales avanzados de protección, automatización, control y comunicación

A continuación, se lleva a cabo la definición del conjunto de empresas que fabrican equipos de protección, automatización, control y comunicación. Se ha dotado de gran peso a este subapartado en concreto, ya que engloba a grandes empresas con una larga trayectoria en el País Vasco, que actúan como palanca tractora de la economía.

En la actualidad, los fabricantes de bienes de equipo eléctricos ya han empezado a abrir líneas de negocio de *Smart Grids* y están integrando nuevos dispositivos y sistemas digitales (SCADA, WMAS, WAAPCA, WASA) en los equipos “tradicionales”, fundamentalmente a través de STs digitales (críticas para una gestión óptima de recursos renovables y distribuidos) y CTs digitales (incluyendo transformadores inteligentes, aparellaje y telecontrol) pero también en relés, conmutadores, sincrofasores, etc.

Siguiendo una evolución natural, es indudable que a medio-largo plazo, en las *Smart Grids* del futuro, todos los equipos de AT/MT llevarán incorporados software. El cambio de paradigma hacia la digitalización ha sido especialmente pronunciado en este sector, ya que las empresas de bienes de equipo del País Vasco estaban habituadas a

vender productos con ciclos de vida muy largos, dedicándose principalmente a servicios de fabricación y comercialización. Como se ha ido comentando a lo largo del documento, las nuevas aplicaciones y programas digitales que se están implementando son, por su propia naturaleza, tecnologías en constante evolución, que requerirán de actualizaciones de software y parches de seguridad a medida que pase el tiempo. De esta forma, las compañías que antes se dedicaban únicamente a la venta de hardware, se verán obligadas, por el propio avance del sector, a proporcionar un producto que incluya hardware con un software asociado.

Las firmas vascas tradicionales fabricantes de equipos de protección, automatización, control y comunicación en AT/MT están más centradas en la fabricación de bienes, mientras que las *startups* se centran más en el desarrollo de software, algoritmos, sensorización, gestión de activos digitales, virtualización, inteligencia distribuida, *edge computing* y ciberseguridad. Por ello, es vital que se establezcan alianzas comerciales entre ambas. Aún se desconoce si el mercado avanzará hacia una fusión de *startups* pequeñas por las grandes empresas fabricantes o si estas últimas comprarán las licencias de las *startups* y/o se encargarán de mantener sus equipos actualizados a través de subcontrataciones. En cualquier caso, queda patente la existencia de múltiples soluciones ante el despliegue a gran escala de las *Smart Grids*.

Dado que este desarrollo es imparable, se debe procurar que las empresas del País Vasco tradicionales del sector eléctrico incorporen las nuevas tecnologías digitales a través de pymes y *startups* vascas, es decir, que no tengan la necesidad de subcontratarla fuera. En este contexto, ACE se presenta como un actor clave a la hora de establecer la comunicación entre ambos tipos de empresa, de forma que puedan complementarse unas a otras y suplir sus necesidades mutuas, mejorando así la eficiencia y optimización del sistema eléctrico y desarrollando la interconexión de redes. Mediante una colaboración público-privada que ya ha tenido éxito en varios proyectos, como se ha visto en este TFM, se resalta la importancia de invertir en las *Smart Grids* desde las instituciones, considerándolas un sector estratégico de la economía de Euskadi.

10.7 Equipos y dispositivos inteligentes de medida y gestión

Esta sección de la nueva cadena de valor de redes eléctricas inteligentes del País Vasco caracteriza a todas aquellas empresas que comercializan equipos y dispositivos inteligentes de medida y gestión, sustituyendo al anterior segmento llamado “Contadores inteligentes y equipos de medida”. De esta forma, se reúnen aquellas compañías fabricantes no solo de contadores inteligentes, cuyo despliegue masivo ya ha comenzado, sino también de nuevos equipos y dispositivos, cuyo uso aún no está tan extendido pero que, sin duda, tendrán un rol clave en el planteamiento futuro de las *Smart Grids*. Estos instrumentos son, por ejemplo, los electrodomésticos inteligentes integrados en la *Smart Home*, que contarán con capacidades de medición, monitorización y gestión del consumo dentro del hogar. Asimismo, los equipos de recarga inteligente domésticos para el VE también se han incluido dentro de este segmento.

10.8 Electrónica de potencia y almacenamiento

Respecto al ámbito de la electrónica de potencia y almacenamiento, se ha considerado que este segmento está suficientemente bien definido en la actualidad y que podría mantenerse para la cadena de valor de las redes eléctricas inteligentes del País Vasco del futuro.

Desde CIC EnergiGUNE, centro de investigación de referencia en almacenamiento, destacan que “los sistemas de almacenamiento a nivel de generación posibilitan el firming, el smoothing, etc., y a nivel de transporte y distribución en investment deferral, peak saving, regulación de frecuencia, de tensión, etc.” [174]. Por lo tanto, las aplicaciones son múltiples y contribuyen a la eficiencia del sistema. Si bien es cierto que las tecnologías de almacenamiento tendrán un papel determinante en el despliegue masivo de las *Smart Grids* durante las próximas décadas, la estrecha relación entre la electrónica de potencia y el almacenamiento es indudable, por lo que se ha decidido mantenerlas en una misma área común.

Nuevamente, se desea resaltar la importancia de la electrónica de potencia y el almacenamiento para contribuir a la estabilidad del suministro y a la incorporación de

renovables al mix energético que forma que se garantice el cumplimiento de los objetivos de la transición energética, tales como el “Objetivo 55” [175], que pretende reducir las emisiones de la UE en al menos un 55 % de aquí a 2030 y el PNIEC ya mencionado anteriormente, entre otros.

10.9 Ensayos y certificaciones de equipos

Los organismos dedicados a ensayos y certificaciones de equipos cobrarán más importancia a medida que surjan nuevas arquitecturas de *Smart Grids*, que deberán estar catalogadas en un marco común para su comercialización internacional. Destaca el papel de estas entidades para ayudar a conseguir la tan necesaria interoperabilidad, mencionada a lo largo del documento. Es por ello que la tarea de ACE en este segmento de mercado debe consistir en transmitir la importancia de contar con asociaciones de este calibre en el País Vasco, dotándoles de recursos para que puedan posicionarse como agentes relevantes en la transición hacia las *Smart Grids*.

10.10 Agentes de conocimiento e I+D en tecnología de redes eléctricas inteligentes

Finalmente, se recoge en un último apartado a aquellos agentes dedicados a la creación de conocimiento e I+D en tecnología de redes eléctricas inteligentes, haciendo hincapié en el último adjetivo, ya que será la tecnología del futuro y es lógico que los principales esfuerzos en I+D se destinen a las soluciones eléctricas, electrónicas y digitales que conformarán las redes eléctricas inteligentes. En esta etapa se investigarán y probarán conceptos innovadores para mejorar la eficiencia, la gestión de la demanda, la integración de fuentes renovables, el almacenamiento de energía y la ciberseguridad, entre otros aspectos.

A continuación, en la Tabla 3, se presenta un listado a modo de comparativa entre la actual cadena de valor de las redes eléctricas en el País Vasco y la nueva cadena de valor obtenida como resultado en el presente TFM. De esta manera, se pretende mostrar de forma más visual los cambios incurridos en la redistribución y/o eliminación de los diferentes agentes del mercado.

Tabla 3. Comparación entre las cadenas de valor actual y nueva. Fuente: Elaboración propia (2023)

Actual cadena de valor	Nueva cadena de valor
Operadores de red	Intermediarios energéticos del sistema
Servicios de Diseño e Ingeniería	Servicios de Diseño, Ingeniería y Consultoría
Montaje y mantenimiento	Montaje, mantenimiento y servicio post-venta
Servicios centrados en el cliente y participación de los usuarios	Servicios orientados al cliente y participación del nuevo consumidor
Sistemas digitales, aplicaciones y análisis de datos	Proveedores de TIC, Análisis y Gestión de Datos
Equipos digitales AT/MT	Equipos digitales avanzados de protección, automatización, control y comunicación en AT/MT
Equipos de protección, automatización, control y comunicación	
Electrónica de potencia y almacenamiento	Electrónica de potencia y almacenamiento
Contadores inteligentes y equipos de medida	Equipos y dispositivos inteligentes de medida y gestión
Ensayos y certificaciones de equipos electrónicos	Ensayos y certificaciones de equipos
Agentes de conocimiento e I+D en tecnología de redes eléctricas	Agentes de conocimiento e I+D en tecnología de redes eléctricas inteligentes

11. PROPUESTA DE MEDIDAS

Tras haber realizado una propuesta de nueva cadena de valor de las redes eléctricas inteligentes del País Vasco, en el presente apartado se sugerirán varias medidas que puede abordar el Cluster de Energía de cara a su contraste, visibilización y comunicación.

En primer lugar, el Cluster de Energía se propone informar a sus asociados de los nuevos cambios propuestos en la cadena de valor a partir del trabajo desarrollado en este TFM. Asimismo, se plantea llevar a cabo un contraste de las modificaciones pertinentes con los asociados, idealmente mediante una celebración presencial de juntas, asambleas o encuentros del Foro Sectorial de redes inteligentes.

Una vez cumplimentada esa tarea, teniendo en cuenta los comentarios y recomendaciones de los asociados, el Cluster de Energía empleará la información expuesta en este TFM para actualizar su catálogo de *Smart Grids*, con el fin de mantenerlo en línea con las tendencias actuales en digitalización de redes.

A continuación, tras completar el proceso de contraste, se propone comunicar la creación de una nueva cadena de valor de redes eléctricas inteligentes en el País Vasco a través de la web del Cluster de Energía y/o mediante el envío de la información por correo electrónico a las compañías y organismos asociados.

Finalmente, existe la posibilidad de subcontratar a un diseñador gráfico con el fin de crear el esquema visual final de la cadena de valor de redes eléctricas inteligentes, que se incluiría en los próximos catálogos de *Smart Grids*.

A través de estas medidas, ACE espera impulsar la nueva cadena de valor de las *Smart Grids* del País Vasco, siendo capaz de afrontar retos globales tales como la complejidad en la operación de redes eléctricas (integración de renovables, movilidad sostenible, seguridad energética, rol activo del consumidor y almacenamiento), en un contexto de expansión ante la descarbonización y transición energética y dando un impulso a la competitividad del tejido industrial de este sector estratégico para la economía vasca.

12. CONCLUSIONES

En el presente Trabajo Fin de Máster (TFM), tras haber analizado el desarrollo del sector de las redes eléctricas en el País Vasco en detalle, se ha elaborado la definición de una nueva cadena de valor para la Asociación Cluster de Energía (ACE), proponiendo una serie de medidas dirigidas actualizar el catálogo de *Smart Grids* de ACE y a mejorar su posicionamiento y comunicación hacia las empresas y entidades asociadas en este ámbito. Las conclusiones más relevantes que se pueden extraer de este trabajo son las siguientes:

- **El País Vasco cuenta con una fuerte cadena de valor de redes eléctricas inteligentes**, donde están involucrados agentes muy diversos; desde empresas de servicios eléctricos, operadores, agentes de conocimiento e I+D y consumidores, hasta fabricantes tradicionales de bienes de equipo y *startups* de creación reciente, proveedoras de tecnología.
- En la actualidad el paradigma está cambiando y nuevas tecnologías digitales asociadas a las *Smart Grids* están transformando radicalmente la mayor parte de los segmentos de la cadena de valor: *Edge computing*, analítica de datos, gestión de activos, IoT, ciberseguridad, *Digital Twins* y drones son tan solo algunas de las tecnologías en auge, que avanzan a pasos agigantados. Por ello, **es vital que las compañías vascas aprovechen esta oportunidad para diversificar y mejorar sus productos con el fin de hacerlos más competitivos frente al resto y no quedarse atrás en el desarrollo digital.**
- A través de un análisis extenso **se ha justificado la necesidad de desarrollar *Smart Grids* a nivel local y global con el fin de llevar a cabo una transición energética social y medioambientalmente justa**, que impulse y descarbonice la economía a la par que apuesta por las energías renovables de carácter distribuido, el almacenamiento y el vehículo eléctrico, frente al uso de los combustibles fósiles. Todos los agentes involucrados tienen la responsabilidad de trabajar de manera conjunta para mejorar la eficiencia y sostenibilidad del suministro eléctrico.

- Debido al empleo de tecnologías digitales en continua evolución a lo largo de las diferentes etapas de las *Smart Grids* (generación, transporte, distribución y comercialización, además de labores de control, seguridad y protección), será necesario una renovación de los bienes de equipo, cuyos ciclos de vida son muy largos. Las empresas dedicadas a la venta de este tipo de productos en la actualidad deberán implementar tecnologías en continua evolución a sus dispositivos, incluyendo actualizaciones de software, parches de seguridad, etc. De este modo, **las soluciones a largo plazo en el mercado de las redes eléctricas inteligentes se erigen como una combinación de *hardware* y *software***: el cliente adquirirá un producto físico y un servicio. La nueva cadena de valor se convertirá en una red no lineal desde el punto de vista comercial, con nuevos participantes en el mercado y nuevos acuerdos comerciales entre ellos. Es importante y necesario definir y poner en marcha nuevos modelos de negocio, que hagan económicamente viable el escenario de combinación HW/SW descrito.
- Revisando las modificaciones propuestas de la nueva cadena de valor de *Smart Grids* en el País Vasco frente la cadena de valor actual se observa que, **hasta ahora, la mayor parte de la actividad de I+D se ha centrado en la distribución eléctrica**. Se requiere una inversión de recursos en las actividades de I+D destinadas al transporte eléctrico: soluciones de FACTS, HVDC, electrónica de potencia, etc. La tecnología de almacenamiento también es una de las más prometedoras, en cuanto a I+D se refiere, mientras que otras soluciones de medida, operación y protección, como los contadores inteligentes, la infraestructura de recarga del VE o los CTs y STs inteligentes, ya se comercializan, pero siguen necesitando incluir nuevas mejoras basadas en tecnologías digitales para ser más competitivas y dar respuesta a los retos existentes.
- Se ha podido comprobar a través de numerosos ejemplos cómo múltiples empresas vascas que operan en todo el mundo ya han empezado a abrir líneas de negocio en el área de las *Smart Grids*. En este contexto, **el Cluster de Energía debe promover que dichas empresas desarrollen su tecnología digital en colaboración con otras compañías vascas**. A medio plazo, se plantea un

escenario en el que las empresas vascas de la cadena de valor de Redes inteligentes colaboren complementando sus capacidades tradicionales de desarrollo y fabricación de bienes de equipo eléctrico con tecnologías digitales innovadoras (algoritmia, sensorización, análisis de datos, entre otras), para obtener productos excelentes y mejorar así su posicionamiento competitivo en el mercado.

- El Cluster de Energía tiene como misión ayudar a las empresas a desarrollar proyectos en colaboración, establecer acuerdos e incluso potenciales soluciones conjuntas en este contexto, a través del fomento de la comunicación entre pymes, grandes empresas y organismos pertenecientes a la RVCTI. En vista de las tendencias internacionales, **ACE ha tratado de redistribuir a las empresas vascas en el futuro marco, creando una nueva cadena de valor de Smart Grids en Euskadi para su catálogo de la marca “*Smart Grids Basque Country*”**. A partir de ahí, se encargará de llevar a cabo actividades de comunicación al público general, que serán los futuros consumidores proactivos de las *Smart Grids*. Asimismo, ACE se encargará de organizar foros y eventos donde se compartan diferentes puntos de vista acerca de las siguientes actuaciones para posicionar al País Vasco como territorio innovador en el área de las *Smart Grids*. El objetivo final es llegar a establecer una colaboración público-privada a todos los niveles de la cadena de valor de las *Smart Grids*, insistiendo en la importancia de llevar a cabo inversiones desde las instituciones públicas, inicialmente, para fomentar la inversión privada en el futuro y, de esta manera, afianzar a las *Smart Grids* como sector estratégico.

13. DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS (DIAGRAMA DE GANTT)

En este apartado se muestra la planificación del presente Trabajo Fin de Máster y la estructura temporal de las diferentes tareas que conllevan el proyecto, desde su concepción original hasta la finalización del documento, teniendo en cuenta todos los pasos intermedios. Con este fin, se ha utilizado el diagrama de Gantt como recurso para mostrar de qué manera se han dispuesto las actividades. Esta distribución se muestra visualmente en la Figura 80, a continuación.

Nombre de la tarea	Fecha de inicio	Fecha de finalización	26.02.2023	28.02.2023	08.03.2023	05.06.2023	17.06.2023	20.06.2023	21.06.2023	18.07.2023	19.07.2023	20.07.2023	22.07.2023	23.07.2023	24.07.2023	12.09.2023	19.09.2023	01.10.2023	02.10.2023
1. Definición del Trabajo Fin de Máster	26.02.2023	08.03.2023	■	■	■														
1.1 Definición de contexto	26.02.2023	28.02.2023	■	■															
1.2 Definición de los objetivos y alcance	28.02.2023	08.03.2023		■	■														
2. Búsqueda de información	05.06.2023	04.07.2023				■	■	■	■										
2.1 Arquitectura de las Smart Grids	05.06.2023	21.06.2023				■	■	■	■										
2.2 Empresas del País Vasco	20.06.2023	04.07.2023						■	■										
3. Redacción del TFM	17.06.2023	24.07.2023					■	■	■	■	■	■	■	■	■				
3.1 Redacción de la memoria	17.06.2023	18.07.2023					■	■	■	■									
3.2 Planificación temporal	18.07.2023	19.07.2023								■	■								
3.3 Redacción de introducción y conclusiones	20.07.2023	22.07.2023									■	■							
3.4 Redacción de resumen	23.07.2023	24.07.2023										■	■						
4. Correcciones	20.06.2023	19.09.2023					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
4.1 Correcciones de formato y revisiones	20.06.2023	18.07.2023					■	■	■										
4.2 Entrega del TFM	19.09.2023	19.09.2023															■		
5. Defensa del proyecto	12.09.2023	02.10.2023														■	■	■	■
5.1 Preparación de la defensa	12.09.2023	01.10.2023														■	■	■	
5.2 Presentación de la defensa	02.10.2023	02.10.2023																	■

Figura 79. Descripción de las tareas (diagrama Gantt del TFM). Fuente: Elaboración propia (2023)

Se aprecia que el período de ejecución del TFM abarca unos 5 meses, en los que no se ha seguido una jornada de trabajo continua, sino que se ha ido desarrollando según disponibilidad de tiempo (fines de semana, festivos, horas libres dentro de la jornada laboral y horas de tiempo libre). Por lo tanto, el total de horas dedicadas al TFM es una estimación, aunque se han respetado las duraciones aproximadas de cada tarea.

En primer lugar, tal y como se observa en el Gráfico X, se definen los aspectos básicos del Trabajo Fin de Grado, es decir, su contexto, sus objetivos y su alcance. Para ello, se emplea un tiempo aproximado de 11 días.

Meses más tarde, en junio, comienza la búsqueda de información; en esta investigación se recopila información sobre las *Smart Grids* a nivel conceptual, empresas de bienes y equipos eléctricos del País Vasco, proyectos piloto llevados a cabo en este terreno y bibliografía relacionada con el trabajo, entre otros. Esta tarea dura unos 29 días, finalizando en julio.

Por otra parte, la redacción del TFM (elaboración de la memoria, planificación temporal y redacción de introducción, conclusiones y resumen) comienza igualmente en junio, dura 37 días y termina a finales de julio.

A medida que se redacta, el documento del TFM se va corrigiendo y revisando tras cada reunión con la directora del proyecto. Esta tarea, en conjunto, dura aproximadamente 90 días.

Finalmente, el diagrama de Gantt culmina con la defensa del proyecto. En esta fase, de aproximadamente 20 días, se incluyen dos tareas: por un lado, la preparación de la defensa y, por otra parte, la propia presentación de la defensa, en octubre.

14. BIBLIOGRAFÍA

- [1] IEA (2022). Resumen ejecutivo – World Energy Outlook 2022 – Analysis - IEA. IEA. Recuperado el 07/06/2023 de <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022/executive-summary?language=es>
- [2] Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030 (2021). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Gobierno de España. Recuperado el 07/06/2023 de <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/pniec.aspx>
- [3] Estrategia E2030 - EVE (2014). Ente Vasco de la Energía. Gobierno Vasco. Recuperado el 07/06/2023 de <https://www.eve.eus/Conoce-la-Energia/La-energia-en-Euskadi/Energy-Policy-2030?lang=es-es>
- [4] Cluster de Energía (2023). Inicio - CLUSTER. Recuperado el 07/06/2023 de <http://www.clusterenergia.com/inicio>
- [5] Idepa (2023). ¿Qué es un cluster? Recuperado el 07/06/2023 de <https://www.idepa.es/innovacion/clusteres/que-es-un-cluster>
- [6] Energía y Sociedad (2023). *Smart Grids*. Energía Y Sociedad. Recuperado el 07/06/2023 de [https://www.energiaysociedad.es/manual-de-la-energia/4-5-smart-grids/#:~:text=Una%20Smart%20Grid%20se%20puede,\(Figura%204%E2%80%91919\)](https://www.energiaysociedad.es/manual-de-la-energia/4-5-smart-grids/#:~:text=Una%20Smart%20Grid%20se%20puede,(Figura%204%E2%80%91919))
- [7] Endesa (2018). Generación distribuida. Recursos educativos Endesa Educa. Recuperado el 07/06/2023 de <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/generacion-distribuida>
- [8] Energía Eléctrica – Estructura del sector (2023). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Gobierno de España. Recuperado el 12/06/2023 de <https://energia.gob.es/electricidad/Paginas/sectorElectrico.aspx>
- [9] Global Electricity (2013). Diferencias entre *Smart Grids* y Redes Eléctricas Convencionales. Global Electricity. Recuperado el 12/06/2023 de <https://globalelectricity.wordpress.com/2013/12/19/diferencias-entre-smart-grids-y-redes-electricas-convencionales/>
- [10] Global Electricity (2013). Centrales Eléctricas. Global Electricity. Recuperado el 12/06/2023 de <https://globalelectricity.wordpress.com/category/centrales-electricas/>
- [11] Areatecnología (2013). Centro de Transformación. Recuperado el 12/06/2023 de <https://areatecnologia.com/electricidad/centro-de-transformacion.html>
- [12] Díaz, C. & Hernández, J. (2011). *Smart Grid*: Las TICs y la modernización de las redes de energía eléctrica – Estado del Arte. Revista S&T, 9(18), 53-81.
- [13] Observatorio Industrial del Sector de la Electrónica, Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones (2011). *Smart Grids* y la evolución de la red eléctrica. Recuperado el 14/06/2023 de

http://www.minetur.gob.es/industria/observatorios/SectorElectronica/Actividades/2010/Federaci%C3%B3n%20de%20Entidades%20de%20Innovaci%C3%B3n%20y%20Tecnolog%C3%ADa/SMART_GRIDS_Y_EVOLUCION_DE_LA_RED_ELECTRICA.pdf

- [14] Fernández, S. (2016). El coche eléctrico y las *Smart Grids*. V2G, V2H Y V2B. Forococheselectricos. <https://forococheselectricos.com/2016/08/el-coche-electrico-y-las-smart-grids-i-v2g-v2b-y-v2h.html>
- [15] Dileep, G. (2020). "A survey on *smart* grid technologies and applications," Renewable Energy, Elsevier, vol. 146(C), pages 2589-2625.
- [16] Krypton Solid (2021). ¿Qué es la lectura automática de contadores (AMR)? Krypton Solid. Recuperado el 14/06/2023 de <https://kryptonsolid.com/que-es-la-lectura-automatica-de-contadores-amr/>
- [17] Capterra (2023). AMI (infraestructura de medición avanzada, por sus siglas en inglés). Recuperado el 14/06/2023 de <https://www.capterra.es/glossary/835/advanced-metering-infraestructure-ami>
- [18] Vukmirović, S. et. al. (2010). Software architecture for *smart* metering systems with virtual power plant. in Proc. 15th IEEE Medit. Electrotech. Conf. (MELECON), pp. 448–451.
- [19] Farhangi, H. (2010). The Path of the *Smart Grid*. IEEE power & energy magazine, 18-28. Recuperado el 14/06/2023 de <http://sci-hub.cc/10.1109/MPE.2009.934876>
- [20] López, G. (2019). The role of power line communications in the *smart* grid revisited: applications, challenges, and research initiatives. Universidad de Comillas. Recuperado el 14/06/2023 de <https://doi.org/2169-3536>
- [21] Ho, Q. et. al (2013). Challenges and research opportunities in wireless communication networks for *smart* grid. IEEE Wireless Communications, vol. 20, no. 3, pp. 89-95. Recuperado el 14/06/2023 de <https://ieeexplore.ieee.org/document/6549287>
- [22] Peralta, A. et. al. (2013). Evolución de las redes eléctricas hacia *Smart Grid* en países de la Región Andina. Revista Educación En Ingeniería, 8(15), 48–61. Recuperado el 19/06/2023 de <https://doi.org/10.26507/rei.v8n15.285>
- [23] ebalanceplus (2020). The *Smart Grid* Hierarchical Network. Recuperado el 19/06/2023 de <https://www.ebalanceplus.eu/the-smart-grid-hierarchical-network/>
- [24] Inga, E. (2012). Redes de comunicación en *smart grid*. Ingenius. Revista de ciencia y tecnología 7. 36-55. Recuperado el 19/06/2023 de <https://www.redalyc.org/pdf/5055/505554811005.pdf>
- [25] Smartgridinfo (2023). Microrredes. Recuperado el 19/06/2023 de <https://www.smartgridsinfo.es/microrredes#:~:text=Una%20microrred%20el%C3%A9ctrica%20es%20un,objetivo%20de%20ahorrar%20energ%C3%ADa%2C%20reducir>

- [26] Fernández, P. (2017). Descripción e infraestructura de una microrred para un entorno residencial. Universidad de Valladolid. Escuela de Ingenierías Industriales. Recuperado el 19/06/2023 de <https://core.ac.uk/download/pdf/211107164.pdf>
- [27] CITCEA-UPC (2013). *Smart Grids*: Tecnologías prioritarias. Informe Estratégico de la Fundación para la sostenibilidad energética y ambiental - FUNSEAM. Recuperado el 19/06/2023 de https://funseam.com/wp-content/uploads/2013/09/k2_attachments_smart_grids_tecnologas_prioritarias.pdf
- [28] Nainar, K. et. al. (2020). Smart Meter Measurement-Based State Estimation for Monitoring of Low-Voltage Distribution *Grids*. *Energies*, 13, 5367. Recuperado el 20/06/2023 de <https://doi.org/10.3390/en13205367>
- [29] Tuballa, M. et. al. (2016). A review of the development of Smart *Grid* technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, vol. 59 (C), pages 710-725. Recuperado el 20/06/2023 de <https://ideas.repec.org/a/eee/rensus/v59y2016icp710-725.html>
- [30] Editores-Srl (2023). Unidades de medición fasorial: ¿qué son y para qué sirven? Recuperado el 20/06/2023 de https://www.editores-srl.com.ar/revistas/ie/329/medicion_fasorial#:~:text=Una%20unidad%20de%20medici%C3%B3n%20fasorial,sistema%20el%C3%A9ctrico%20de%20transmisi%C3%B3n%20distribuci%C3%B3n
- [31] González, D. et. al. (2016). Control robusto de oscilaciones en sistemas de potencia mediante señales remotas. *INGE CUC*. 12. 58-67. 10.17981/ingecuc.12.2.2016.06. Recuperado el 20/06/2023 de https://www.researchgate.net/publication/309227777_Control_robusto_de_oscilaciones_en_sistemas_de_potencia_mediante_senales_remotas
- [32] IDAE (2011). Evolución tecnológica y prospectiva de costes de las energías renovables. IDAE. Recuperado el 20/06/2023 de <https://www.idae.es/publicaciones/evolucion-tecnologica-y-prospectiva-de-costes-de-las-energias-renovables>
- [33] SmartGridsInfo (2019). Electrónica de potencia aplicada a la *smart grid*. Recuperado el 20/06/2023 de <https://www.smartgridsinfo.es/comunicaciones/comunicacion-electronica-potencia-aplicada-smart-grid#:~:text=La%20electr%C3%B3nica%20de%20potencia%20permite%20el%20aprovechamiento%20de%20las%20renovables,de%20los%20c%C3%B3digos%20de%20red>
- [34] Olabarrieta, J.L. (2008). Aplicaciones de los dispositivos FACTS en generadores eólicos. *Térmica industrial*, 276. 36-41. Recuperado el 20/06/2023 de <https://www.tecnicaindustrial.es/wp-content/uploads/Numeros/36/38/a38.pdf>
- [35] Grupo SPRI (2021). Panorama del Sector Energético Vasco 2021. Informe Sectorial Redes Eléctricas. Recuperado el 20/06/2023

- [36] *Smart Grids* Basque Country (2022). Redes Inteligentes. Áreas estratégicas. Cluster de Energía. Recuperado el 20/06/2023 de <http://www.clusterenergia.com/smart-grids-basque-country>
- [37] Red Eléctrica (2021). Operación del sistema eléctrico. Redeia. Recuperado el 20/06/2023 de <https://www.ree.es/es/actividades/operacion-del-sistema-electrico>
- [38] Red Eléctrica de España (2020). Plan de desarrollo de la Red de Transporte de Energía Eléctrica. Período 2021-2026. Recuperado el 20/06/2023 de https://www.planificacioneolica.es/sites/webplani/files/2023-02/REE_Plan_Desarrollo.pdf
- [39] Red Eléctrica (2021). Programa *Grid2030* | Red Eléctrica. Recuperado el 20/06/2023 de <https://www.ree.es/es/sostenibilidad/anticipacion-y-accion-para-el-cambio/programa-grid2030>
- [40] Iberdrola (2021). Iberdrola acelera inversiones en redes inteligentes en Euskadi hasta los 144 millones en los 18 últimos meses, un 50 % más que en el trienio 2017-2019. Recuperado el 20/06/2023 de <https://www.iberdrola.com/sala-comunicacion/noticias/detalle/iberdrola-acelera-inversiones-redes-inteligentes-euskadi>
- [41] Europa Press. (2023). Iberdrola generó un impacto socioeconómico en Euskadi de 2.700 millones en 2022 y aportó más del 2% del PIB vasco. Recuperado el 20/06/2023 de <https://www.europapress.es/euskadi/noticia-iberdrola-genero-impacto-socioeconomico-euskadi-2700-millones-2022-aporto-mas-pib-vasco-20230425122340.html>
- [42] Iberdrola (2021). Referente mundial en “*Smart Grids*”. Iberdrola. Recuperado el 20/06/2023 de <https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestra-actividad/smart-grids>
- [43] IDOM. (2019). Líneas eléctricas archivos - IDOM. Recuperado el 20/06/2023 de <https://www.idom.com/sector/energia/transporte-distribucion-electricidad/lineas-electricas/>
- [44] IDOM. (2021). Gestión inteligente de los sistemas de seguridad - IDOM. <https://www.idom.com/noticia/gestion-inteligente-de-los-sistemas-de-seguridad/>
- [45] Sener (2023). Sener: tecnología innovadora para un futuro sostenible. Recuperado el 20/06/2023 de <https://www.group.sener/>
- [46] HYDAC (2023). Recuperado el 20/06/2023 de <https://www.hydac.com/es-es/>
- [47] Dinamo Técnica. (2021). Refrigeración de baterías de tracción en vehículos eléctricos - Dinamo Técnica. Recuperado el 21/06/2023 de <https://dinamotecnica.es/2021/03/refrigeracion-de-baterias-de-traccion.html>
- [48] Pronutec (2023). Productos para redes eléctricas de Baja Tensión. Pronutec. Gorlan. Recuperado el 21/06/2023 de <https://pronutec.gorlan.com/>
- [49] Pronutec (2023). *Smart Grids* de baja tensión. Gorlan. Recuperado el 21/06/2023 de <https://gorlan.com/smart-grids/?from=pronutec>

- [50] BOSLAN(2023). Inicio. BOSLAN. Recuperado el 21/06/2023 de <https://www.boslan.com/es/>
- [51] Inkolan (2023). Nuestro Servicio-Inkolan. Recuperado el 21/06/2023 de <https://www.inkolan.com/nuestro-servicio/>
- [52] Guía de prensa (2023). INKOLAN - Guía de Prensa. Recuperado el 21/06/2023 de <https://www.guiadeprensa.com/publicaciones/inkolan/>
- [53] EIA21 (2023). EIA21 - Ingeniería de Soluciones desde hace más de 40 años. Recuperado el 21/06/2023 de <https://www.eia21.com/>
- [54] i+CCM: solución inteligente para la gestión avanzada y la predicción de faltas en cuadros eléctricos | Artículos y entrevistas. (2023). Energética XXI, Revista de Noticias de Energía, Biomasa, Eólica, Fotovoltaica, Solar, Autoconsumo. <https://www.energetica21.com/articulos-y-entrevistas-online-ver/i-masccm-solucion-inteligente-para-la-gestion-avanzada-y-la-prediccion-de-faltas-en-cuadros-electricos->
- [55] TECUNI (2023). TECUNI -Linkedin. Recuperado el 21/06/2023 de <https://es.linkedin.com/company/tecuni-sa>
- [56] Telefónica (2018). Tecuni se apoya de nuevo en Bizkaia Open Future_ para lanzar su segundo reto tecnológico. Recuperado el 21/06/2023 de https://www.telefonica.com/es/sala-comunicacion/tecuni-se-apoya-de-nuevo-en-bizkaia-open-future_-para-lanzar-su-segundo-reto-tecnologico/
- [57] *smartlighting* (2022). Tecuni se hará cargo de la gestión energética de las instalaciones eléctricas de Bilbao durante los dos próximos años por más de 7,8 M€. *Smartlighting*. Recuperado el 21/06/2023 de <https://smart-lighting.es/tecuni-gestion-energetica-instalaciones-electricas-bilbao/>
- [58] Gobesa. (2023). Gobesa. Recuperado el 21/06/2023 de <https://gobesa.com/gobesa/>
- [59] Grupo Miesa (2013) Grupo Miesa - Web de Grupo Miesa. Recuperado el 21/06/2023 de <https://www.miesasa.com/>
- [60] Eldu (2016). Montaje alta tensión, mantenimiento alta tensión, baja tensión, subestaciones, centros transformación, eficiencia energética, contrato mantenimiento eléctrico, líneas. Recuperado el 21/06/2023 de <https://www.eldu.com/>
- [61] Burgo, P. (2022). Eldu busca digitalizar sus servicios en el mantenimiento de instalaciones de alta tensión. SPRI. Recuperado el 21/06/2023 de <https://www.spri.eus/es/teics-comunicacion/eldu-busca-digitalizar-sus-servicios-en-el-mantenimiento-de-instalaciones-de-alta-tension/>
- [62] Burgo, P. (2021). Alerion: “Queremos tener una posición más relevante a nivel internacional.” SPRI. Recuperado el 21/06/2023 de <https://www.spri.eus/es/internacionalizacion-comunicacion/alerion-queremos-tener-una-posicion-mas-relevante-a-nivel-internacional/>
- [63] Alerion (2022). Inicio - Alerion. <https://aleriontec.com/>

- [64] Bet Energía (2020). Empresa - Bet Energía. Recuperado el 21/06/2023 de <https://www.grupobet.es/empresa/>
- [65] VOSS-Fluid (2022). VOSS-Fluid. Recuperado el 21/06/2023 de <https://www.voss-fluid.net/es/home>
- [66] TECMAN (2017). Grupo Tecman adquiere la empresa madrileña Energía y Control Industrial (ECI). Recuperado el 21/06/2023 de <https://www.tecman.eus/tecman/es/grupo-tecman-adquiere-la-empresa-madrilena-energia-y-control-industrial-eci/>
- [67] TECMAN (2023). Eficiencia Energética, Mantenimiento, diseño y ejecución de obra de instalaciones de Climatización, PCI, etc. Tecman. Recuperado el 21/06/2023 de <https://www.tecman.eus/tecman/es/inicio/>
- [68] Ekisolar (2022). Linkedin. Recuperado el 21/06/2023 de https://es.linkedin.com/company/ekisolarenergiarenovable?original_referer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2Fsearch%3Fq%3Dekisolar%26source%3Dlmns%26bih%3D657%26biw%3D1366%26hl%3Des%26sa%3DX%26ved%3D2ahUKEwjww929_dT_AhUCp0wKHTSqCxUQ_AUoAHoECAEQAA
- [69] Viaintermedia (2015). Fotovoltaica - ITS-Ekisolar, acreditada para cortar los cables - Energías Renovables, el periodismo de las energías limpias. Energías Renovables, El Periodismo de Las Energías Limpias. Recuperado el 21/06/2023 de <https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/itsekisolar-acreditada-para-cortar-los-cables-20151117>
- [70] Equipel (2021). Celdas de media tensión. Recuperado el 21/06/2023 de <https://equipel.es/>
- [71] Bexreal (2023). Bexreal – xR Solutions for the industry. Recuperado el 21/06/2023 de <https://www.bexreal.com/>
- [72] UPTEK (2023). BEXREAL | UPTEK. Recuperado el 21/06/2023 de <https://www.uptek.es/es/empresas/asociados/bexreal>
- [73] Galea (2019). Galea - Fresadoras, cilindros y gatos hidráulicos. Galea Herramientas Hidráulicas y Neumática. Recuperado el 21/06/2023 de <https://www.galea.es/>
- [74] WireWatch. (2013). WireWatch. Líder tecnológico en prevención y vigilancia contra el robo de cable. Recuperado el 21/06/2023 de <http://www.wire-watch.com/>
- [75] Hitachi Energy (2014). Hitachi Energy – Impulsando un futuro energético sostenible para todos. Recuperado el 21/06/2023 de <https://www.hitachienergy.com/es/es>
- [76] Euskabea. (2022). Euskabea Soluciones globales de electricidad. Recuperado el 21/06/2023 de <https://www.euskabea.com/es/>
- [77] Mariscal, M. (2019). Euskabea inicia en su nueva planta una etapa basada en la digitalización. Noticias de Gipuzkoa. Recuperado el 22/06/2023 de

- <https://www.noticiasdegipuzkoa.eus/economia/2019/11/28/euskabea-inicia-nueva-planta-etapa-3808781.html>
- [78] LinkedIn (2022). Euskabea, digitalización para lograr la eficiencia energética en el mantenimiento industrial. Recuperado el 22/06/2023 de https://www.linkedin.com/pulse/euskabea-digitalizaci%C3%B3n-para-lograr-la-eficiencia-energ%C3%A9tica-?trk=organization-update-content_share-article
- [79] Atten2 (2023). Atten2 -Deep monitoring solutions. Recuperado el 22/06/2023 de <https://atten2.com/>
- [80] Junestrang, S. (2015). Iberdrola y el CDTI invierten en la empresa vasca tecnológica Atten2. SMARTGRIDSINFO. Recuperado el 22/06/2023 de <https://www.smartgridsinfo.es/2015/11/23/iberdrola-y-el-cdti-invierten-en-la-empresa-vasca-tecnologica-atten2>
- [81] Indra (2023). Indracompany. Recuperado el 22/06/2023 de <https://www.indracompany.com/>
- [82] SOLUCIONES SMART GRID. (s.f.). ENERGÍA Y UTILITIES. Indracompany. Recuperado el 22/06/2023 de https://www.indracompany.com/sites/default/files/indra_smart_grid-es.pdf
- [83] Burgo, P. (2021). Meteo for Energy: Analítica avanzada para la generación de energías renovables. SPRI. Recuperado el 22/06/2023 de <https://www.spri.eus/es/emprendimiento/meteo-for-energy-analitica-avanzada-para-la-generacion-de-energias-renovables/>
- [84] Meteo For Energy (2023). Meteo for Energy- Predicciones meteorológicas para plantas renovables. Recuperado el 22/06/2023 de <https://www.meteoforenergy.com/es/>
- [85] Ibermática (2014). Nace Ceiber Energy para facilitar a las empresas el ahorro y control de la energía - Ibermática an Ayesa company. Recuperado el 22/06/2023 de <https://ibermatica.com/nace-ceiber-energy-facilitar-las-empresas-ahorro-control-la-energia/>
- [86] CEIBER. (2014). Ceiber.com. Recuperado el 22/06/2023 de <https://www.ceiber.com/>
- [87] EpowerLabs (2022). EpowerLabs. Inverter de Tracción | BMS | DC/DC. Recuperado el 22/06/2023 de <https://epowerlabs.com/>
- [88] Cluster de Energía (2021). EpowerLabs, empresa especializada en servicios de ingeniería y desarrollo de productos para soluciones de movilidad eléctrica, se incorpora al Cluster de Energía. Recuperado el 22/06/2023 de <http://www.clusterenergia.com/bazkideen-berriak-2/epowerlabs-empresa-especializada-en-servicios-ingenieria-y-desarrollo-productos-para-soluciones-movilidad-electrica-se-incorpora-al-cluster-2>
- [89] Martínez, M. (2022). EPowerlabs logra contratos con fabricantes de vehículos en España, Francia e India. Revista El Economista. Recuperado el 22/06/2023 de

<https://revistas.economista.es/pais-vasco/2022/diciembre/epowerlabs-logra-contratos-con-fabricantes-de-vehiculos-en-espana-francia-e-india-ML12801814>

- [90] Ibermática. (2023). Ibermática an Ayesa Company. Recuperado el 22/06/2023 de <https://ibermatica.com/>
- [91] Ibermática. (2022). Ibermática se suma al proyecto “eCitySevilla” para hacer más sostenible La Cartuja para 2025 - Ibermática an Ayesa company. Recuperado el 22/06/2023 de <https://ibermatica.com/ibermatica-se-suma-al-proyecto-ecitysevilla-para-hacer-mas-sostenible-la-cartuja-para-2025/>
- [92] EMS2 (2021). EMS2 – Energy Management Systems & Solutions. ERAIKUNE. Recuperado el 22/06/2023 de <http://www.eraikune.com/portfolio/ems2/>
- [93] Ariadna *Grid*. (2019). Inicio - Ariadna *Grid*. Recuperado el 22/06/2023 de <https://www.ariadnagrid.com/es/>
- [94] Ariadna *Grid* (2022). Implantación de Ariadna Power*Grid*MAP en NATURGY - Ariadna *Grid*. Recuperado el 22/06/2023 de <https://www.ariadnagrid.com/es/blog/implantacion-de-ariadna-powergridmap-en-naturgy/>
- [95] UPTEK (2023). BARBARA IoT | UPTEK. Recuperado el 22/06/2023 de <https://www.uptek.es/es/empresas/asociados/barbara-iot>
- [96] Barbara (2020). Barbara - La plataforma industrial Cybersecure Edge. Recuperado el 22/06/2023 de <https://barbaraiot.com/es/>
- [97] Barbara (2023). Barbara - Flexibilidad de la red inteligente gracias a la computación de borde. Recuperado el 22/06/2023 de <https://barbaraiot.com/es/smart-grid>
- [98] Rascón, D. (2023). Xabet. Fomento San Sebastián. Recuperado el 22/06/2023 de <https://www.fomentosansebastian.eus/es/apoyo-a-empresas/espacios-empresariales/empresas-pia/xabet>
- [99] Clúster de Energía. (2020). Xabet, empresa dedicada a la gestión de datos y desarrollo de plataformas digitales, nuevo asociado del Clúster de Energía. Recuperado el 22/06/2023 de <http://www.clusterenergia.com/bazkideen-berriak-2/xabet-empresa-dedicada-a-gestion-datos-y-desarrollo-plataformas-digitales-se-une-al-cluster-energia-2>
- [100] Cluster de Energía. (2022). El centro formativo y tecnológico Vicomtech, especializado en la investigación aplicada en tecnologías digitales, se incorpora al Cluster de Energía. Recuperado el 22/06/2023 de <http://www.clusterenergia.com/proyectos-en-marcha-8/centro-formativo-y-tecnologico-vicomtech-especializado-en-investigacion-aplicada-en-tecnologias-digitales-se-incorpora-al-cluster-energia>
- [101] Vicomtech. (2023). Centro tecnológico especializado en Artificial Intelligence, Visual Computing & Interaction | Vicomtech. Recuperado el 22/06/2023 de <https://www.vicomtech.org/es/>

- [102] Vicomtech. (2023). Vicomtech aplica modelos de inteligencia artificial en la digitalización del sector energético. Recuperado el 22/06/2023 de <https://www.vicomtech.org/es/actualidad/detalle/vicomtech-aplica-modelos-de-inteligencia-artificial-en-la-digitalizacion-del-sector-energetico>
- [103] Mitsubishi Corporation. (2023). Mitsubishi Corporation. Recuperado el 22/06/2023 de <https://www.mitsubishicorp.com/jp/en/index.html>
- [104] Mitsubishi Corporation (2012). EV-Smart *Grid* Demonstration Project | Mitsubishi Corporation. Recuperado el 22/06/2023 de <https://www.mitsubishicorp.com/jp/en/pr/archive/2012/html/0000014509.html>
- [105] Mitsubishi Electric Corporation. (2021). Mitsubishi Electric adquirirá Smarter *Grid* Solutions. Recuperado el 22/06/2023 de <https://es.mitsubishielectric.com/es/news/releases/global/2021/0810-a/index.html>
- [106] S21Sec (2023). Servicios – S21Sec. Recuperado el 22/06/2023 de <https://www.s21sec.com/es/servicios/>
- [107] Aclara Technologies LLC. (2019). Aclara Technologies LLC | Smart Infrastructure Solutions. Recuperado el 22/06/2023 de <https://www.aclara.com/>
- [108] General Electric (2022). GE | Building a world that works | General Electric. Recuperado el 22/06/2023 de <https://www.ge.com/>
- [109] General Electric (2019). GE Smart *Grid* At a Glance. Recuperado el 22/06/2023 de <https://www.gegridsolutions.com/ge-smart-grid.htm>
- [110] FEV. (2022). FEV Europe GmbH | Spain. Recuperado el 22/06/2023 de <https://www.fev.com/spain.html>
- [111] PCVUE (2022). PcVue Solutions | Sistema SCADA de gestión energética. Recuperado el 22/06/2023 de <https://scada-spain.es/energia/sistema-scada-gestion-energetica/>
- [112] Super Cluster Atlantic Wind. (2021). PcVue Solutions - Super Cluster Atlantic Wind. Recuperado el 22/06/2023 de <https://sawcluster.eu/empresas/pcvue-solutions/>
- [113] ElectroTAZ (2020). ElectroTAZ - Aparamenta de Alta Tensión. Recuperado el 22/06/2023 de <https://www.electrotaz.com/>
- [114] Issuu (2017). Catálogo de Productos de Aparamenta de Alta Tensión de Electrotaz (esp ing). Recuperado el 22/06/2023 de https://issuu.com/electrotaz/docs/catalogo_esp-ing
- [115] MESA (2023). MESA: Líderes en soluciones energéticas en Media y Alta Tensión. Recuperado el 22/06/2023 de <https://www.mesa.es/es/index.php>
- [116] Cluster de Energía (2022). MESA, Manufacturas Eléctricas SAU, empresa del grupo Schneider Electric celebra su 75o aniversario. Recuperado el 22/06/2023 de <http://www.clusterenergia.com/noticias-asociados-2/mesa-manufacturas-electricas-sau-empresa-grupo-schneider-electric-celebra-su-75-aniversario>

- [117] Velatia (2023). Ormazabal. Un aliado estratégico para redes eléctricas y *smart grid* - Velatia. Recuperado el 22/06/2023 de <https://www.velatia.com/es/empresas-que-forman-velatia/ormazabal/>
- [118] Ormazabal. (2023). Ormazabal. Recuperado el 22/06/2023 de <https://www.ormazabal.com/>
- [119] Artech (2022). Home | Artech | Moving together. Recuperado el 22/06/2023 de <https://www.artech.com/es>
- [120] Artech. (2023). Power *Grid* | Artech. Recuperado el 22/06/2023 de <https://www.artech.com/es/power-grid>
- [121] AEG Power Solutions Ibérica S.A. - Asociación Española del Hidrógeno. (2023). Asociación Española Del Hidrógeno. Recuperado el 23/06/2023 de <https://www.aeh2.org/socios/aeg-power-solutions-iberica-s-a/>
- [122] AEG Power Solutions. (2023). Aegps. Recuperado el 23/06/2023 de <https://www.aegps.com/es/>
- [123] Em-Power (2023). AEG PS Storage Converters to be Installed in Hungarian *Smart-Grid* Project. Recuperado el 23/06/2023 de <https://www.em-power.eu/news/aeg-ps-storage-converters-to-be-installed-in-hungarian-smart-grid-project>
- [124] JEMA Energy (2023). Homepage - JEMA Energy. Recuperado el 23/06/2023 de <https://www.jemaenergy.com/es/>
- [125] ADEGI (2017). JEMA ENERGY: Innovación en Electromovilidad - Fuentes de Energía. Recuperado el 23/06/2023 de <https://www.adegi.es/adegi/jema-energy-innovacion-electromovilidad-fuentes-energia/index.php?&nav=es>
- [126] Issuu (2021). Jema, Soluciones de futuro. Recuperado el 23/06/2023 de https://issuu.com/irizar-buses/docs/irizar_group_magazine_2021/s/14308338
- [127] CAF Power & Automation (2018). Inicio - Sistemas ferroviarios CAF Power & Automation. Recuperado el 25/06/2023 de <https://www.cafpower.com/es/>
- [128] EP, N. (2022). Euskotren reduce el consumo energético un 7% en trenes de cercanías. Noticias de Gipuzkoa. Recuperado el 25/06/2023 de <https://www.noticiasdegipuzkoa.eus/economia/2022/08/11/euskotren-energetico-5905291.html>
- [129] BIC Bizkaia (2023). Lumiker. Recuperado el 25/06/2023 de <https://bicbizkaia.eus/empresa/lumiker/>
- [130] Lumiker Aplicaciones Tecnológicas. (2022). Lumiker - Diagnóstico y predicción de activos mediante fotónica. Recuperado el 25/06/2023 de <https://www.lumiker.com/>
- [131] PCT Cartuja (s.f.). Encuentro B2B Digitl Energy Euskadi. Recuperado el 25/06/2023 de https://www.pctcartuja.es/sites/default/files/LISTADO_ENTIDADES_ENCUESTRO_EUSKADI.pdf

- [132] Zigor (2021). ZIGOR | Gestión integral de la energía eléctrica. Recuperado el 25/06/2023 de <https://zigor.com/>
- [133] Uriona, A. (2022). Zigor Corporación, la innovación constante para garantizar el suministro energético. SPRI. Recuperado el 25/06/2023 de <https://www.spri.eus/es/ciberseguridad/zigor-corporacion-la-innovacion-constante-para-garantizar-el-suministro-energetico/>
- [134] Ingeteam. (2023). Ingeteam. Recuperado el 25/06/2023 de <https://www.ingeteam.com/>
- [135] Ingeteam (2023). *Smart Grids* - Sectores | Ingeteam. Recuperado el 25/06/2023 de https://www.ingeteam.com/uy/es-uy/sectores/smart-grids/s15_56_p/productos.aspx
- [136] Cegasa (2023). Cegasa. Recuperado el 25/06/2023 de <https://www.cegasa.com/>
- [137] SoC-e (2022). SoC-e.com: System on Chip & FPGA IP Core Development. Recuperado el 25/06/2023 de <https://soc-e.com/>
- [138] Astarloa, A. (2011). System-on-Chip engineering, expertise in FPGAs. REE. . Recuperado el 25/06/2023 de <https://www.redeweb.com/txt/684/80.pdf>
- [139] Industrias Pinazo (2023). Pinazo. Recuperado el 25/06/2023 de <https://pinazo.com/>
- [140] Safybox (2021). Home Safybox. Recuperado el 25/06/2023 de <https://www.safybox.com/es/>
- [141] Direct Industry (2015). Caja de Pared Uriarte Safybox. Recuperado el 25/06/2023 de <https://www.directindustry.es/prod/uriarte-safybox/product-111429-1535147.html>
- [142] Tecnalía (2023). ZIV | Tecnalía. Recuperado el 25/06/2023 de <https://www.tecnalia.com/casos-de-exito/ziv>
- [143] ZIV (2023). HV-MV-LV Automation Systems- ZIV. Recuperado el 25/06/2023 de <https://www.zivautomation.com/es/>
- [144] Burgo, P. (2022, March 22). Enermetrik: “Es sin duda el momento de la energía fotovoltaica para autoconsumo, no habrá otro igual.” SPRI. Recuperado el 25/06/2023 de <https://www.spri.eus/es/sostenibilidad-ambiental/enermetrik-es-sin-duda-el-momento-de-la-energia-fotovoltaica-para-autoconsumo-no-habra-otro-igual/>
- [145] Enermetrik (2022). Inicio | Enermetrik. Recuperado el 25/06/2023 de <https://www.enermetrik.com/>
- [146] Merytronic (2023). Merytronic. Recuperado el 25/06/2023 de <https://merytronic.gorlan.com/>
- [147] Tecnalía (2023). Centro de investigación | Desarrollo tecnológico | Tecnalía. Recuperado el 25/06/2023 de <https://www.tecnalia.com/>
- [148] Tecnalía (2023). Laboratorio de redes eléctricas inteligentes | Tecnalía. Recuperado el 25/06/2023 de <https://www.tecnalia.com/infraestructuras/laboratorio-de-redes-electricas-inteligentes>

- [149] Tecnalía (2023). Laboratorio de redes eléctricas inteligentes y generación distribuida | Tecnalía. Recuperado el 25/06/2023 de <https://www.tecnalia.com/infraestructuras/laboratorio-de-redes-electricas-inteligentes-y-generacion-distribuida>
- [150] Bureau Veritas (2023). Home | España. Bureau Veritas. Recuperado el 25/06/2023 de <https://www.bureauveritas.es/>
- [151] Bureau Veritas (2014). Certificación de equipos e instalaciones. España. Bureau Veritas. Recuperado el 25/06/2023 de <https://www.bureauveritas.es/certificacion/certificacion-de-equipos-e-instalaciones>
- [152] GTR Redacción. (2021). Moxa obtiene la certificación IEC 62443-4-1 referente a estándares de ciberseguridad. SMARTGRIDSINFO. Recuperado el 25/06/2023 de <https://www.smartgridsinfo.es/2021/03/29/moxa-obtiene-certificacion-iec-62443-4-1-referente-estandares-ciberseguridad>
- [153] CIC energiGUNE (2023). Sobre CIC energiGUNE. Recuperado el 26/06/2023 de <https://cicenergigune.com/es/sobre-cic-energigune>
- [154] Cluster de Energía (2017). Entrevista a Nuria Gisbert, Directora General de CIC EnergiGUNE, sobre la evolución de las redes eléctricas hacia las *Smart Grids*. Recuperado el 26/06/2023 de <http://www.clusterenergia.com/noticias-asociados-2/entrevista-a-nuria-gisbert-directora-general-cic-energigune-sobre-evolucion-redes-electricas-hacia-smart-grids>
- [155] STECH (2023). LORTEK | STECH. Recuperado el 26/06/2023 de <https://www.stech.es/es/empresas/asociados/lortek>
- [156] Cidetec (2020). Inicio | Cidetec Energy Storage. Recuperado el 26/06/2023 de <https://energystorage.cidetec.es/es/inicio>
- [157] Tekniker (2023). Sistemas ciber-físicos - TEKNIKER. Recuperado el 26/06/2023 de <https://www.tekniker.es/es/sistemas-ciber-fisicos>
- [158] IKERLAN (2023). Ciberseguridad industrial | IKERLAN. Recuperado el 26/06/2023 de <https://www.ikerlan.es/lineas-de-especializacion/area/ciberseguridad-industrial>
- [159] UPV/EHU. (2021). Grupo de Investigación en Electrónica Aplicada (APERT) - APERT - Grupo de Investigación en Electrónica Aplicada - UPV/EHU. Recuperado el 26/06/2023 de <https://www.ehu.es/es/web/apert/home>
- [160] Departamento de Ingeniería Eléctrica - UPV/EHU (2023). Grupos - Departamento de Ingeniería Eléctrica. Recuperado el 26/06/2023 de <https://www.ehu.es/es/web/ingenieria-electrica/taldeak>
- [161] Escuela de Ingeniería de Bilbao - UPV/EHU (2023). Elektriiker - Escuela de Ingeniería de Bilbao. Recuperado el 26/06/2023 de <https://www.ehu.es/es/web/bilboko-ingeniaritza-eskola/elektriiker>

- [162] DeustoTech. (2023). Equipos de investigación - DeustoTech. . Recuperado el 26/06/2023 de <https://deustotech.deusto.es/equipos-de-investigacion/>
- [163] DeustoTech. (2019). energos - DeustoTech. Recuperado el 26/06/2023 de <https://deustotech.deusto.es/project/energos/>
- [164] Navarro, E. et. al. (2016). Despliegue de Smart *Grid* a gran escala en el área metropolitana de Bilbao. Recuperado el 27/06/2023 de <https://static.smartgridsinfo.es/media/2016/11/bidelek-sareak-despliegue-smart-grid-a-gran-escala-en-area-metropolitana-bilbao-eduardo-navarro-ibedrola-jose-ignacio-hormaeche-cluster-energia-pais-vasco-3-congreso-smart-grids.pdf>
- [165] EVE (2016). Bidelek Sareak, Redes Eléctricas Inteligentes en Euskadi. Recuperado el 27/06/2023 de <https://www.eve.eus/CMSPages/GetFile.aspx?guid=cccef092-9d18-486c-86c2-6633d0aee69b>
- [166] Cluster de Energía (2016). Proyecto Bidelek Sareak – CLUSTER. Recuperado el 27/06/2023 de <http://www.clusterenergia.com/proyecto-bidelek-sareak>
- [167] Interempresas (2016). Bidelek Sareak: el modelo de colaboración público-privada como clave del éxito en el despliegue de *Smart Grids*. Recuperado el 30/06/2023 de <https://www.interempresas.net/Energia/Articulos/215272-Bidelek-Sareak-modelo-colaboracion-publico-privada-clave-exito-despliegue-Smart-Grids.html>
- [168] Ente Vasco de la Energía (2016) Bidelek Sareak, Redes Eléctricas Inteligentes en Euskadi. Recuperado el 30/06/2023 de <https://www.eve.eus/CMSPages/GetFile.aspx?guid=cccef092-9d18-486c-86c2-6633d0aee69b>
- [169] Onda Cero Bilbao. (2021). Iberdrola y la Diputación Foral de Bizkaia ponen en marcha el centro tecnológico global que definirá las redes. OndaCero. Recuperado el 30/06/2023 de https://www.ondacero.es/emisoras/pais-vasco/noticias/iberdrola-centro-tecnologico-redes-electricas_20211005615c51573ac9750001509ccd.html
- [170] Iberdrola. (2023). Global *Smart Grids* Innovation Hub - Iberdrola. Recuperado el 30/06/2023 de <https://www.iberdrola.com/innovacion/global-smart-grids-innovation-hub>
- [171] La Razón. (2023). i-DE celebra en Valencia una jornada sobre innovación y redes inteligentes. La Razón. Recuperado el 30/06/2023 de https://www.larazon.es/comunidad-valenciana/ide-celebra-valencia-jornada-innovacion-redes-inteligentes_20230622649492cbe9f5530001cf55df.html
- [172] Veiga, J. (2023). Energía en manos de la ciudadanía: agregadores independientes - Ecooo. Ecooo. Recuperado el 17/07/2023 de <https://ecooo.es/blog/consulta-publicagregadores-independientes/>
- [173] PwC (s.f.). Get Smart with Smart Grids: A new paradigm. Recuperado el 19/07/2023 de <https://www.pwc.com/gx/en/utilities/assets/pwc-smart-grids.pdf>

- [174] SmartGridsInfo (2017). Nuria Gisbert, Directora General de CIC EnergiGUNE. SmartGridsInfo. Recuperado el 18/07/2023 de <https://www.smartgridsinfo.es/2017/07/06/nuria-gisbert-directora-general-cic-energigune>
- [175] Consejo Europeo (2020). Objetivo 55. Consejo de la Unión Europea. Recuperado el 06/09/2023 de <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>