



Universidad de Valladolid



PROGRAMA DE DOCTORADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TESIS DOCTORAL:

ESTUDIO DE LA SOSTENIBILIDAD Y ENERGÍAS RENOVABLES EN LAS COMUNIDADES ENERGÉTICAS

Presentada por D. José Andrés Palacios Ferrer.

para optar al grado de Doctor/a por la Universidad de Valladolid

Dirigida por:

D. Francisco Javier Rey Martínez

D. Javier M. Rey Hernández

A mi mujer Rosa
y a mi hijo Sergio
por estar siempre a conmigo,
a mi lado.

AGRADECIMIENTOS

A los doctores D. Francisco Javier Rey y a D. Javier María Rey, por haberme guiado y apoyado durante estos años de Tesis Doctoral. Por haberme asesorado en el trabajo y compartido el esfuerzo. Son un verdadero valor en la ingeniería nacional, y han sabido entenderme en mi momento profesional y de doctorando.

A Christian Reppening por su amistad, trabajo, profesionalidad, y su apoyo para llegar hasta el final del proyecto.

A la empresa Edinor sin los cuales no hubiese podido llevar adelante el proyecto, Ignacio Zubia, Juan Luis Diego, Javier Zuazola, y especialmente a Iker Marino.

Al Centro Nacional de Energías Renovables, CENER, especialmente a Manuel Rodríguez, mi verdadero sustento intelectual en el proyecto.

A la Cámara Oficial de Industria, Comercio y Servicios de Navarra, especialmente a su presidente D. Javier Taberna por su confianza incondicional, y a mis compañeros de trabajo, especialmente a Eva, Pachi, Silvia, Fernando, Sonia, Celia, Ana, y a todos.

Y finalmente a toda mi familia y amigos por su apoyo incondicional.

RESUMEN

El Pacto Verde Europeo constituye una ambiciosa estrategia de la Unión Europea con el objetivo primordial de transformar la economía del bloque hacia un modelo sostenible y climáticamente neutro para 2050. Esta iniciativa, presentada por la Comisión Europea en 2019, plantea una serie de políticas interconectadas que abarcan desde la transición energética hacia fuentes renovables y la mejora de la eficiencia energética, hasta la promoción de la movilidad sostenible, la agricultura ecológica y la circularidad de la economía. El Pacto Verde busca no solo mitigar los efectos del cambio climático sino también impulsar la innovación, crear empleos verdes y mejorar la calidad de vida de los ciudadanos europeos.

Y uno de los pilares sobre los que se asienta es el denominado “empoderamiento del consumidor”, dado que este deja de situarse como un mero agente pasivo en la estructura general de los mercados energéticos, y pasa a erigirse como un sujeto plenamente activo que, participando en los mercados de electricidad, contribuye de manera decidida a lograr los objetivos de transición energética existentes.

Las Comunidades Energéticas Locales (CEL), tanto las Comunidades de Energía Renovable (CER), como las Comunidades Ciudadanas de Energía (CCE), desempeñan un rol fundamental en la transición hacia un modelo energético más sostenible y democrático en Europa. Estas agrupaciones de ciudadanos y entidades promueven la generación distribuida y el autoconsumo de energía renovable, lo que contribuye a reducir la dependencia de los grandes productores y a mitigar los efectos del cambio climático. Además de los beneficios ambientales, las CEL ofrecen ventajas económicas a sus miembros, como la reducción de costos energéticos y la creación de nuevas oportunidades de negocio local. No obstante, su implantación y desarrollo se enfrentan a desafíos regulatorios y técnicos que varían entre los diferentes estados miembros, lo que requiere una armonización normativa a nivel europeo para facilitar su expansión y consolidación.

Al agrupar a productores y consumidores locales, las CEL facilitan la integración de fuentes de energía renovable, principalmente la solar fotovoltaica, en la red eléctrica. A través del autoconsumo colectivo y la generación distribuida, las CEL contribuyen a reducir la dependencia de los grandes productores de energía, a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y a fomentar la eficiencia energética.

El desarrollo de las CEL se ve potenciado por un conjunto de tecnologías habilitadoras que permiten una gestión eficiente de la energía a nivel local. Entre estas tecnologías destacan los sistemas de gestión de energía (EMS), las redes de comunicación de alta velocidad, los sensores inteligentes, los sistemas de almacenamiento de energía y las herramientas de inteligencia artificial. Estas tecnologías permiten optimizar la producción, el consumo y el almacenamiento de energía renovable, facilitando así la integración de las CEL en el sistema energético existente.

Los sistemas de almacenamiento permiten optimizar la gestión de la energía generada por fuentes renovables intermitentes, como la solar fotovoltaica y la eólica, maximizando así su aprovechamiento y contribuyendo a la estabilidad de la red eléctrica. No obstante, para garantizar una implementación exitosa de las baterías en las Comunidades Energéticas CEL, resulta crucial investigar en profundidad los distintos perfiles de los consumidores y considerar el marco normativo vigente, aportando estudios a los gestores del autoconsumo distribuido. La legislación española sobre almacenamiento energético, enmarcada en la transición hacia un sistema energético más sostenible y flexible, ofrece un marco regulatorio que fomenta la integración de sistemas de almacenamiento en la red eléctrica. En esta tesis buscaremos facilitar reflexiones y conclusiones que sirvan para una mejor implantación del almacenamiento en las CEL.

ABSTRACT

This thesis comprises a comprehensive study of the current state of Energy Communities, their role in sustainability, the most significant technologies employed, and the various elements integrated into their development.

Firstly, we analyze the state of the art of Energy Communities in Europe and Spain, examining their implementation in other European countries, the United States, and Australia. This study has served to learn about the implementation with different legal levels, as well as the needs and financial tools for its implementation.

Additionally, we conduct a study of both renewable technologies, particularly solar energy and storage, as well as the enabling technologies currently implemented and those with significant future potential in Energy Communities.

Digitalisation and the implementation of ICT in Energy Communities are making it possible for them to become the basis for the future development of Smart Grids. In this Thesis we have delved into its current state in the CELs.

This research delves into a case study of a photovoltaic (PV) energy community, leveraging empirical data to explore the integration of renewable energy sources and storage solutions. By evaluating energy generation and consumption patterns within real-world energy communities (a nominal generation capacity of 33 kWn) in Gipuzkoa, Spain, from May 2022 to May 2023, this study comprehensively examines operational dynamics and performance metrics. This study highlights the critical role of energy consumption patterns in facilitating the integration of renewable energy sources and underscores the importance of proactive strategies to manage demand fluctuations effectively. Against the backdrop of rising energy costs and environmental concerns, renewable energies and storage solutions emerge as compelling alternatives, offering financial feasibility and environmental benefits within energy communities. This study emphasizes the necessity of research and development efforts to develop efficient energy storage technologies and the importance of economic incentives and collaborative initiatives to drive investments in renewable energy infrastructure. The analyzed results provide valuable insights into operational dynamics and performance metrics, further advancing our

understanding of their transformative potential in achieving a sustainable energy future. Specifically, our study suggests that storage capacity should ideally support an average annual capacity of 23%, with fluctuations observed where this capacity may double or reduce to a minimum in certain months. Given the current market conditions, our findings indicate the necessity of significant public subsidies, amounting to no less than 67%, to facilitate the installation of storage infrastructure, especially in cases where initial investments are not covered by the energy community.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	7
RESUMEN	9
ABSTRACT	11
PROPUESTA DE OBJETIVOS	21
1.INTRODUCCIÓN Y ESTUDIO DEL ARTE	27
1.1 Prosumidores	32
1.2 Comunidades Energéticas Locales (CEL).....	35
1.2.1 Elementos conceptuales de las Comunidades Renovables de Energía CER, y las Comunidades Ciudadanas de Energía CCE	37
1.2.2 Tipos de Estructuras Legales	42
1.2.3 Financiación de las Comunidades Energéticas	45
1.3. Aspectos medioambientales, Economía circular y objetivos de desarrollo sostenible concernientes a comunidades energéticas	53
1.4 Barreras y facilitadores del Desarrollo de las CEL	58
REFERENCIAS.....	59
2. LAS CEL EN EUROPA, EE.UU. Y AUSTRALIA.....	63
2.1 Situación de las CEL en España.....	69
2.2 Comunidades Energéticas en Alemania	75
2.3 Las Comunidades energéticas en Italia	81
2.4 Las CEL en Francia	83
2.5 Las CEL en Reino Unido	83
2.6 Las CEL en Países Bajos – Holanda	85
2.7 Las CEL en Dinamarca.....	85
2.8 Las CEL en Chequia.....	86
2.9 Las CEL en Grecia.....	87
2.10 Situación de las CEL en EE.UU. y Australia.....	88
REFERENCIAS	90

TECNOLOGÍAS DE ENERGÍAS RENOVABLES	93
3. TECNOLOGÍAS DE ENERGIAS RENOVABLES APLICADAS A LAS CEL	95
3.1 Desarrollo de Tecnologías Renovables	95
3.2 Tecnología Solar	96
3.2.1 Tecnología Solar Térmica	96
3.2.2. Tecnología Solar Fotovoltaica (PV)	101
3.3 Tecnología Eólica	113
3.4 Tecnología Hidráulica	118
3.5 Tecnología Biomasa	120
3.6 Tecnología Biocombustibles y Biogás	121
3.7 Tecnología Geotermia	123
3.8 Tecnología del Hidrógeno Verde.....	124
REFERENCIAS	125
TECNOLOGÍAS HABILITADORAS	129
4. TECNOLOGÍAS TIC. DIGITALIZACIÓN DE LAS CEL. SMART GRIDS Y SMART CITY	131
4.1 Introducción	131
4.2 Digitalización y TIC en la Evolución de las CEL.....	132
4.3 Smart grids	135
4.4. Desarrollo de las Smart Grids en Europa.....	138
REFERENCIAS	151
5. ESTUDIO Y ANALISIS DE UN CASO REAL DE COMUNIDAD ENERGÉTICA LOCAL CEL.....	157
5.1 Comunidades de Energía Sostenibles, CEL	157
5.2. Estudio y análisis de un caso CEL real	160
5.3 Toda Energía Navarra, un modelo de colaboración.....	179
REFERENCIAS	183
6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	187

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Evolución de la producción de energía renovables en los distintos países de la UE. Estudio Energý Prosumers. (4)	33
Tabla 2: Diferentes estructuras legales en las CEL. (17).....	42
Tabla 3: Clases de Comunidades Energéticas. (19).....	43
Tabla 4: Resumen de los beneficios de los distintos tipos de prosumidor. (20).....	44
Tabla 5: Resumen de barreras y desafíos para los distintos tipos de prosumidores. (20).....	46
Tabla 6: Modelos de comunidades energéticas según Reis et al Busines models. (23).....	47
Tabla 7: Comparativa de los objetivos y resultados del PNIEC 2021-2030. (32).....	54
Tabla 8: Informe Comisión Nacional del Mercados y la Competencia. (7).....	71
Tabla 9: Plan de Digitalización del sistema energético: acciones clave de la comisión europea y plazos indicativos. (10).....	140
Tabla 10: Tipos de cargadores inteligentes y grado de madurez. (14).....	145
Tabla 11: Características de los Smart meters en la EU. (14).....	147
Tabla 12: Instalación fotovoltaica de autoconsumo colectivo. (Elaboración propia).....	162
Tabla 13: Sistema de almacenamiento de energía del sistema fotovoltaico. (Elaboración propia).....	165
Tabla 14: Indicadores de funcionamiento fotovoltaicos y de almacenamiento. (Elaboración propia).....	165
Tabla 15: Indicadores de funcionamiento fotovoltaicos y de almacenamiento por cliente. (Elaboración propia).....	167
Tabla 16: Datos de partida de la batería. (Elaboración propia).....	176
Tabla 17: Costes económicos del CEL por kWh. (Elaboración propia).....	177

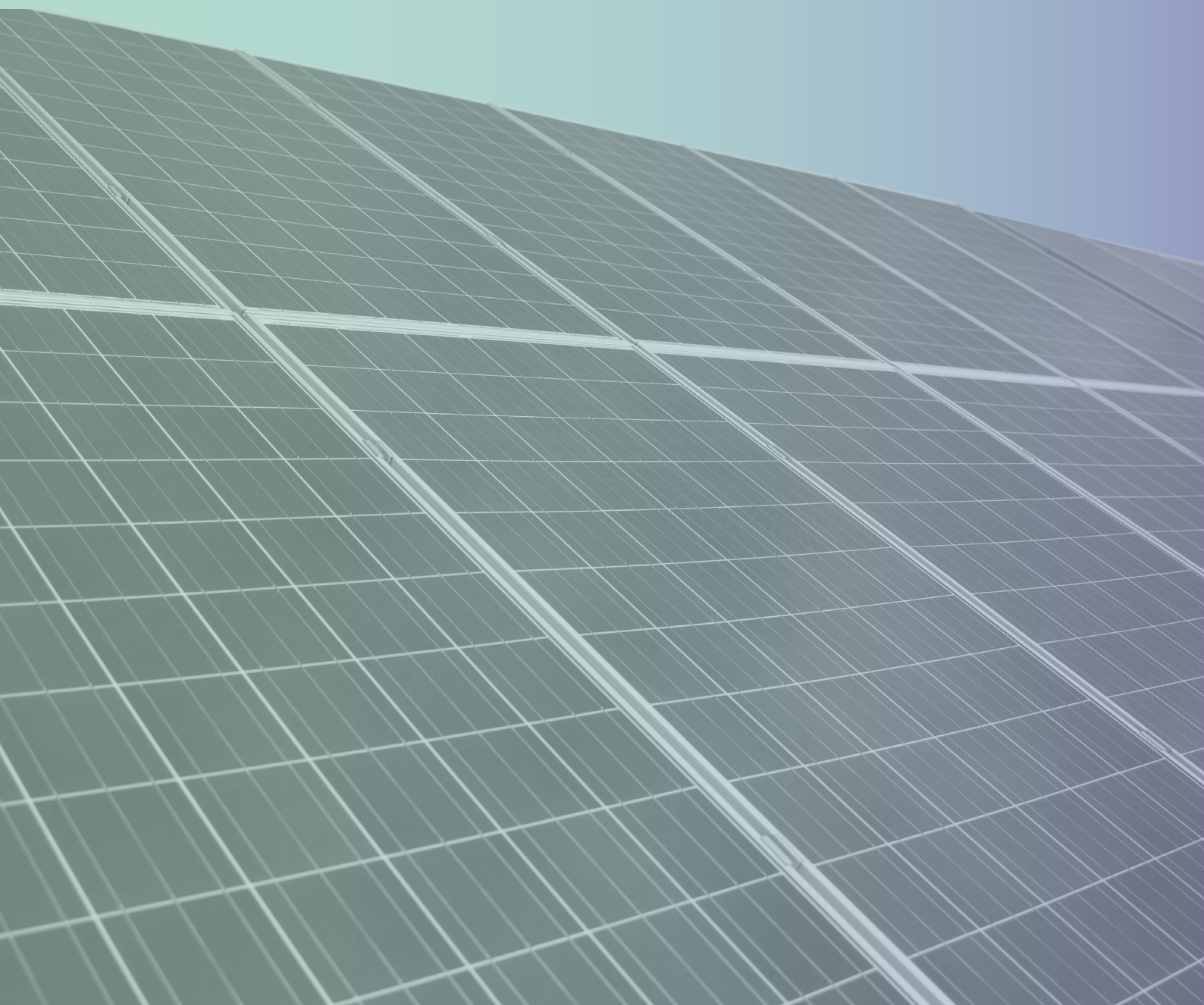
ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructura y contenidos del Pacto Verde Europeo. [36].....	29
Figura 2: Cuadros resumen REPOWER EU. [3].....	31
Figura 3: Gráficos del Estudio Energy prosumers in EUROPE. [4].....	32
Figura 4: Factores de decisión según el estudio Energy Prosumers. [4].....	34
Figura 5: Las Comunidades energéticas según Marco Normativo Europeo y Español. [1,8]	39
Figura 6: Actividades que desarrollan las CEL. (Elaboración propia).....	39
Figura 7: Características de las Comunidades energéticas según Marco Europeo y Español. [1,8].....	41
Figura 8: Estudio de Energy Prosumidores. Estudio COM RES. [20].....	44
Figura 9: Distintos niveles de estructuras que participan en la constitución y funcionamiento de una CEL vienen reflejados en el cuadro del estudio COM RES. [20].....	47
Figura 10: Proyectos financiados en España por el programa CE IMPLEMENTA. [16].....	50
Figura 11: Proyecto Realisatiefonds, Países Bajos. [7].....	51
Figura 12: Objetivos de la Economía Circular en España 2030. [32].....	57
Figura 13: Rastreador de la trasposición de las definiciones de CER y CCE. [36].....	66
Figura 14: Marcos habilitadores y esquemas de apoyo. [36].....	66
Figura 15: Guía de las Comunidades Rurales publicada por la Comisión Europea. [3].....	67
Figura 16: Una visión general de la energía y la innovación social. [36]	68
Figura 17: Mapa de las CEL en España. [9].....	73
Figura 18: Fórmulas de abaratamiento de la factura de la luz. [11].....	74
Figura 19: Modelo Blockchain.[11].....	74
Figura 20: Ejemplos de dispositivos de producción de energía autónoma. [11].....	75
Figura 21: Proporción de los diferentes tipos de propietarios de instalaciones de energía renovable en Alemania (2019). [16]	77
Figura 22: Número de nuevas cooperativas de energía por año en Alemania 2008-2016. [16]	78
Figura 23: Crecimiento de los pagos en virtud de la Ley de fuentes de energía renovable de Alemania (EEG) e iniciativas lideradas por ciudadanos en Alemania. [17]	79
Figura 24: Mapa de transición de mejora de escala' Energy Rev. [24].....	84

Figura 25: Cuadro resumen de NRECA 2020. [36].....	88
Figura 26: Potencia y producción solar térmica mundial. [27].....	97
Figura 27: Sección constructiva de un captador solar plano indicando sus componentes. [4].	97
Figura 28: Captador de tubos de vacío y con “tubo de calor” (heat-pipe). [4]	98
Figura 29: Rendimiento de tres tipos de captador solar. [4].....	99
Figura 30: Esquema general de una instalación solar térmica. [4].....	99
Figura 31: Montaje de acumuladores solares en el exterior y los circuitos hidráulicos que los conectan. [4].....	101
Figura 32: Esquema de sistema PV distribuido en una CEL. [Elaboración propia].....	102
Figura 33: La Unión PN del Panel Solar PV. [5].....	102
Figura 34: Curva Tensión/Corriente/Potencia de un panel PV. [9]	103
Figura 35: Partes de una turbina eólica. Proyecto SENDA. [7].....	114
Figura 36: Evolución Fuentes Energía Renovable. [9].....	115
Figura 37: Crecimientos esperados de Fuentes Renovables. [9].....	116
Figura 38: Necesidad de crecimiento en el escenario NET ZERO, 2015 – 2030. [9]	116
Figura 39: Capacidad eléctrica renovable acumulada casos principal y acelerado en Net Zero. [9].....	118
Figura 40: Campo de utilización de los diferentes tipos de turbinas. [11]	119
Figura 41: Esquema básico de red térmica DH. [15].....	120
Figura 42: Esquema básico de una central de trigeneración. [15].....	121
Figura 43: Diagrama del proceso simplificado para la producción de biocombustibles avanzados por vía bioquímica. [19]	122
Figura 44: Vista general del emplazamiento de la central eléctrica de la aldea bioenergética de Mauenheim. [21]	123
Figura 45: Gráfica de la presentación de IEA sobre el incremento de la Geotermia a nivel mundial. [22].....	124
Figura 46: Sistema energético actual y futuro en la EU. [5].....	132
Figura 47: Sistema GNERA con utilización de BlockChaim. [1].....	133
Figura 48: Sistema EMS desarrollado por CENER. [2]	134
Figura 49: Esquema de un Smart Grid en una ciudad. [4]	138
Figura 50: Desglose de coste unitario de proyectos de almacenamiento. [13]	143
Figura 51: Almacenamiento global acumulado, por mercados, 2015-2030. [12].....	144
Figura 52: Principales mercados europeos de almacenamiento a escala de red. Nueva capacidad 2022-2031 (GWh). [13].....	144
Figura 53: Principales tipos de SGEH. [8]	148
Figura 54: Hogares inteligentes en Europa (millones). [8]	148
Figura 55: Sistema de gestión CEL de Berrobi. [Elaboración propia].....	160

Figura 56: Sistema de control de la planta fotovoltaica con baterías para autoconsumo colectivo. Sistema fotovoltaico CEL de Berroni. (Elaboración propia).....	161
Figura 57: Generación de energía Wh por el sistema fotovoltaico por hora. (Elaboración propia)	163
Figura 58: Generación de energía kWh del cliente CEL promedio en un intervalo de un día. (Elaboración propia)	164
Figura 59: Curva de potencia que representa el perfil de generación de energía diurna durante un día de mayo para un consumidor dentro de la comunidad energética de Berrobi. (Elaboración propia).....	168
Figura 60: Descargas anuales de la red incurridas por un consumidor individual. (Elaboración propia)	169
Figura 61: Consumo medio diario de energía para clientes residenciales. (Elaboración propia)	170
Figura 62: Patrones de consumo de energía diario de los clientes industriales. (Elaboración propia)	171
Figura 63: Consumo medio diario de energía para clientes comerciales. (Elaboración propia)...	172
Figura 64: Consumo energético y generación media diaria anual dentro de la CEL. (Elaboración propia)	173
Figura 65: Consumo autogenerado (naranja), consumo de red (azul) y energía no utilizada dentro de la CEL (morado). (Elaboración propia)	174
Figura 66: Excedentes mensuales de generación de energía dentro de la CEL. (Elaboración propia)	175
Figura 67: Mapa de Navarra con los Municipios de CEL TODA NAVARRA. (Elaboración propia) .	179
Figura 68: Implantación de la Energía Fotovoltaica en CEL Navarra. (Elaboración propia).....	180
Figura 69: Cargadores de Vehículos Eléctricos en Cascante. (Elaboración propia)	181

PROPUESTA DE OBJETIVOS



PROPUESTA DE OBJETIVOS

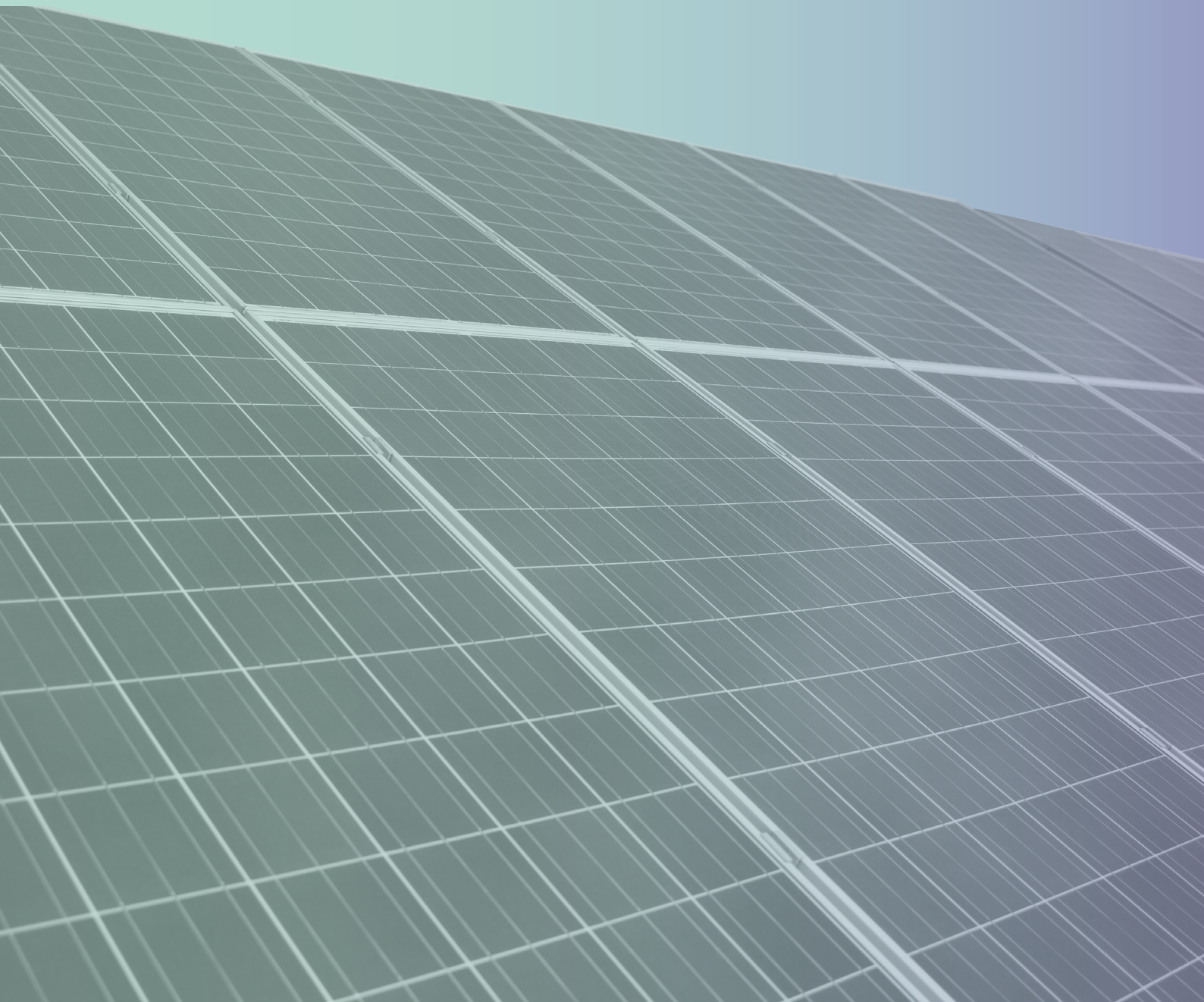
Esta tesis plantea un objetivo principal que aborda el análisis de la implantación del almacenamiento con baterías en las Comunidades Energéticas Locales. Todo el estudio se enmarca en las Directivas Europeas que las regulan, la Directiva 2019/944, de 5 de junio, del Mercado Interior de la Electricidad incluye las Comunidades Ciudadanas de Energía (CCE), y la Directiva 2018/2001 de 11 de diciembre de 2018, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, incluye las Comunidades de energía renovable (CER). A la hora de desarrollar en España la transición energética hacia fuentes renovables las Comunidades Energéticas Locales (CEL) se convierten en actores principales de este cambio.

Nuestros objetivos específicos serán:

- 1 Analizar el estado del Arte de las Comunidades Energéticas Locales, su desarrollo en Europa, EE.UU. y Australia, observando posibles apuestas nacionales en estos análisis.
- 2 Analizar las estructuras legales y estructuras de financiación de las CEL.
- 3 Analizar las tecnologías de energía renovables y su aplicabilidad a las Comunidades Energéticas, analizando su aplicabilidad de modelos manejables en el entorno de las CEL.
- 4 Analizar las tecnologías habilitadoras en las Comunidades Energéticas, y concluir sobre su potencial en la implantación de las CE.
- 5 Estudiar un caso real que nos servirá para analizar la relevancia en las CEL del almacenamiento evaluando los patrones de consumo y su eficaz gestión en las fluctuaciones de demanda.
- 6 Estudiar los modelos de baterías con baterías detrás del contador general de la CEL, "behind the meter" que mejor se adaptan al modelo de las CEL en función de las necesidades de los patrones de consumo y la situación actual de implantación.
- 7 Estudiar si la estrategia de almacenamiento garantiza la estabilidad financiera de una CEL, y si se maximiza el uso de la producción energética y los beneficios ambientales que se produce.
- 8 Estudiar los incentivos públicos que ayuden a su penetración en función de los costos actuales soportados, así como su combinación con tecnologías generadoras.
- 9 Finalmente, analizaremos otro caso real de una Comunidad Energética de ámbito provincial, que sirva como modelo de aquellas que quieran iniciar un camino de gestión conjunta de los activos de una CEL, reguladas en Orden TED/764/2024, de 22 de julio, por la que se aprueban las bases reguladoras para la concesión de ayudas del nuevo programa de incentivos a proyectos piloto singulares de comunidades energéticas (Programa CE implementa).



1. INTRODUCCIÓN Y ESTUDIO DEL ARTE



1. INTRODUCCIÓN Y ESTUDIO DEL ARTE

La Comisión Europea plantea unos objetivos en el PACTO VERDE EUROPEO (Fig.1) que pasan por capacitar a los consumidores y ayudar a los Estados miembros a combatir la pobreza energética:

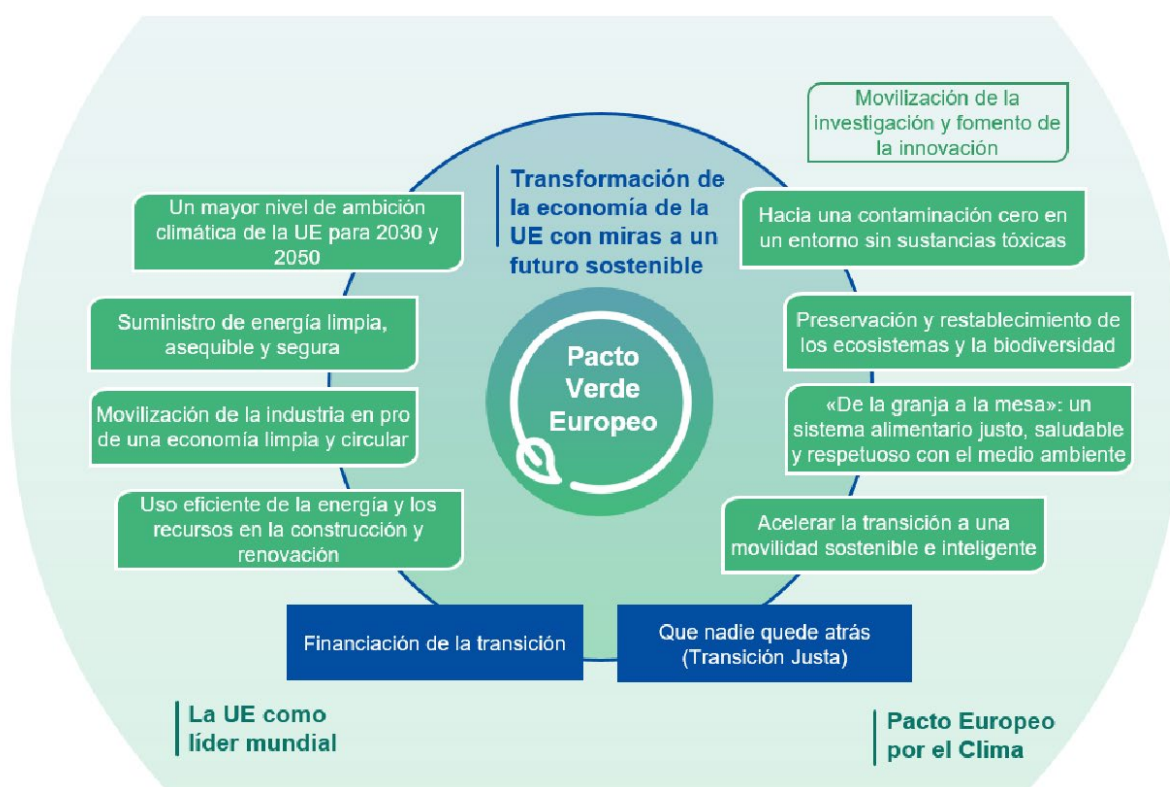


Figura 1: Estructura y contenidos del Pacto Verde Europeo. [36]

La Unión Europea se marca como objetivo, situar a la **ciudadanía en el centro de esta transición energética**, para lo cual, los Estados miembros deben otorgar a los consumidores el derecho a producir, consumir, almacenar y vender su propia energía, a ser posible de origen renovable.

Las Comunidades energéticas aparecen recogidas en las Directivas que recogen estos objetivos europeos. La Directiva 2019/944 [1], de 5 de junio, del Mercado Interior de la Electricidad incluye las Comunidades energéticas de ciudadanos (citizen energy communities), y en la Directiva 2018/2001 de 11 de diciembre de 2018, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, incluye las Comunidades de energía renovable.

Probablemente influenciada por la situación de PANDEMIA del COVID-19, gran parte de la sociedad ha desarrollado una mayor conciencia social por el medio ambiente. Esta mayor conciencia social confluye con tres aspectos que pueden desarrollar definitivamente, como son las disposiciones normativas de la UE, la evolución económica favorable de instalación de la energía fotovoltaica de autoconsumo, y la revolución tecnológica en los procesos que le afectan a su funcionamiento integral, principalmente la gestión de la demanda. Las Comunidades Energéticas Locales (CEL) son un concepto relativamente nuevo desde el punto de vista normativo en Europa, si bien existen experiencias en diferentes países europeos desde hace muchos años. Es en la Directiva 2019/944, de 5 de junio, del Mercado Interior de la Electricidad donde se crea un marco legal para reconocer las “comunidades ciudadanas de energía”, definidas como una entidad legal con las siguientes características:

Con carácter orientativo y no limitativo se trata de una entidad jurídica de participación voluntaria y abierta controlada por accionistas o miembros que sean personas físicas o jurídicas (entre otras: asociaciones, cooperativas, organizaciones sin ánimo de lucro, empresas) y también administraciones locales autonómicas o nacionales.

Por otra parte, el objetivo social principal será ofrecer beneficios energéticos, de los que se deriven también los medioambientales, económicos o sociales a sus miembros o a la localidad en la que desarrolla su actividad, más que generar una rentabilidad financiera. Finalmente, las actividades a desarrollar serán, entre otras, la generación de energía principalmente procedente de fuentes renovables, la distribución, el suministro, el consumo, la agregación, el almacenamiento de energía, la prestación de servicios de eficiencia energética, la prestación de servicios de recarga para vehículos eléctricos o de otros servicios energéticos.

En el contexto actual de guerra por la invasión de Rusia se intensifica el objetivo de intensificar las energías renovables en todos los sectores. El proceso legislativo a nivel de la UE modificó la Directiva de Energía Renovable y la Comisión de la UE ha propuesto un nuevo objetivo del 40% en lugar del 32% en el consumo total de energía de la Unión Europea para 2030, todo esto lleva consigo una necesidad de aumento significativo de la cifra de inversión en el despliegue de estas tecnologías.

Todas estas políticas se han visto impulsadas a través de acuerdos en el seno de la UE, como la Comunicación de la Comisión a las instituciones europeas referente a la Estrategia de Energía solar de la UE [2], donde se propone el despliegue rápido y masivo de las energías renovables y constituye el núcleo central del programa REPOWER EU [3], Figura 2, iniciativa desarrollada para poner fin a la dependencia de los combustibles fósiles procedentes de Rusia.



Figura 2: Cuadros resumen REPOWER EU. [3]

La estrategia solar cuenta con cuatro iniciativas de trabajo:

- La Iniciativa de Tejados Solares.
- La simplificación de los procedimientos de concesión y autorización.
- La garantía de mano de obra cualificada y abundante.
- La puesta en marcha de la Alianza Europea de la Industria Solar fotovoltaica.

Dentro de la Comunicación se citan las Comunidades Energéticas ciudadanas de energía como las comunidades de energía renovables, como herramientas fundamentales que deben ser apoyadas por los Estados Miembros, no solo financieramente sino con la eliminación de las barreras y obstáculos administrativos y de acceso a los distintos negocios del sistema energético.

Se propone continuar con un plan de tres etapas en su desarrollo: APRENDIZAJE, PLANIFICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN, con el fin de que las COMUNIDADES DE ENERGIA LOCAL, CEL adquieran conocimientos técnicos y obtener acceso a la financiación. Se anima a los EEMM a que hagan uso de las exenciones de procedimientos obligatorios de licitación competitiva para los proyectos de comunidades de energías renovables con potencia limitada a 6 MW, o que faciliten su participación.

El almacenamiento, el vehículo eléctrico, los puntos de recarga, la eficiencia energética, todas las tecnologías serán apoyadas de manera expresa en las CEL de cada EEMM.

1.1 PROSUMIDORES

El prosumo (producir y consumir) puede beneficiar a los individuos participantes, así como como sociedad en su conjunto. Estos beneficios ambientales, sociales y financieros, adquieren mayor relevancia si se realizan de forma colectiva, además de ayudar al empoderamiento de los ciudadanos y sentirse implicados en la transformación energética.

Toda esta información viene recogida en el Estudio ENERGY PROSUMERS IN EUROPE [4] donde se recomienda a los EEMM aplicar las disposiciones del “paquete de energía” para los europeos y el citado **REPOWER EU** [3]. Todas estas disposiciones abundan en los mismos conceptos de apoyo al desarrollo de las CEL, acceso a financiación, acceso a tecnologías habilitadoras y a los negocios del sistema. Es importante señalar que existen cuatro entidades relacionadas con la prosumición definidas en la legislación de la UE:

- Autoconsumidores de energías renovables.
- Comunidades de energías renovables.
- Comunidades Ciudadanas de Energía.
- Clientes Activos definidos en la Directiva de Electricidad.

Estos cuatro conceptos no son mutuamente excluyentes y se superponen en diversos grados con nuestra definición de prosumidores. Una revisión de estos conceptos está disponibles en este estudio.

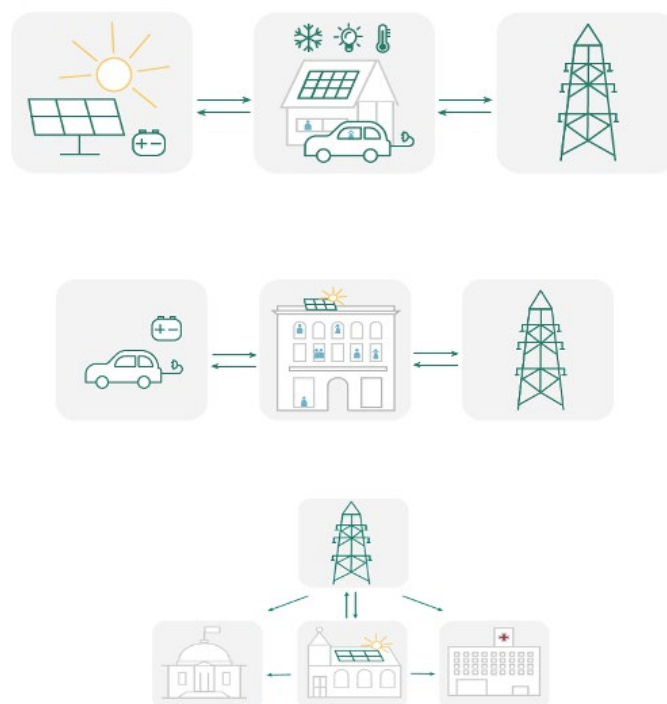
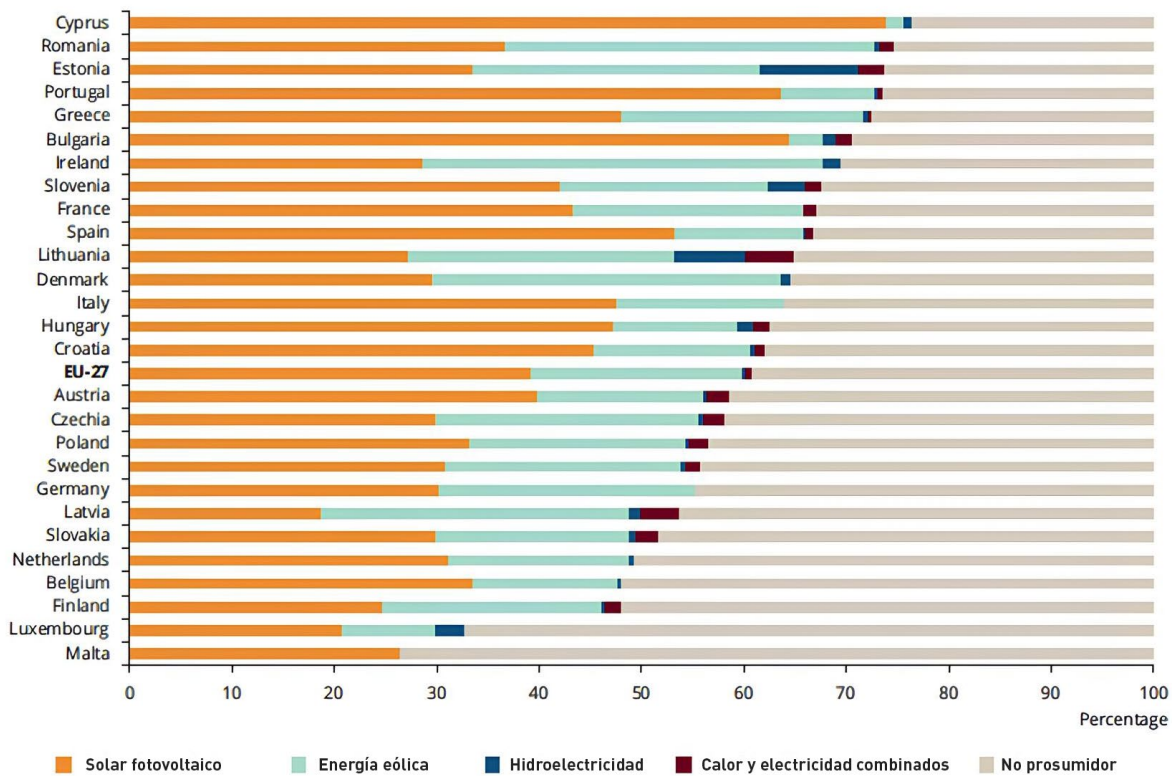


Figura 3: Gráficos del Estudio Energy prosumers in EUROPE. [4]

El potencial de prosumidores en la UE es enorme tal y como se muestra en la tabla 1 del informe Energy prosumers (4):

Tabla 1: Evolución de la producción de energía renovables en los distintos países de la UE. Estudio Energía Prosumers. (4)



Nota: El potencial para CHP (calor y electricidad combinados) en estos datos se refiere a la producción de electricidad mediante la combustión de biogás en instalaciones de CHP.

La contribución de esta tecnología al potencial técnico es baja en todos los Estados Miembros de la UE.

Fuente: CE Delft (2021).

(5) Los Informes de Doračić et al. (2020) y CE Delft (2021) usan una definición similar de prosumidores que este informe. Producir energía renovable como actividad comercial no se considera prosumidor.

(6) Corresponde a la electricidad producida si todo el espacio y los recursos disponibles fueran utilizados por prosumidores para producir su propia energía con fuentes de energía renovables (RES).

No se considera la viabilidad económica de las tecnologías de energía renovable.

Los prosumidores individuales o en comunidad son propietarios de pequeñas instalaciones descentralizadas que utilizan parte de la energía que producen para autoconsumo. La propuesta de 2021 de revisión de la Directiva sobre fiscalidad de la energía sigue permitiendo a los Estados miembros no gravar la electricidad de origen solar. Solo es posible aprovechar todo el potencial de la energía solar para la UE si los ciudadanos y las comunidades reciben los incentivos adecuados para convertirse en prosumidores.

Uno de los principales obstáculos al autoconsumo individual o colectivo señalado por las partes interesadas a través de la consulta pública son las cargas y las tarifas de acceso a la red. La legislación de

la UE en vigor, las autoridades reguladoras nacionales tienen el mandato y la competencia exclusiva para prescribir tarifas transparentes, no discriminatorias y que reflejen los costes. participar en todos los mercados de la electricidad. En la figura 4 se muestran los factores que determinan la elección de prosumición según el estudio Energy Prosumers.

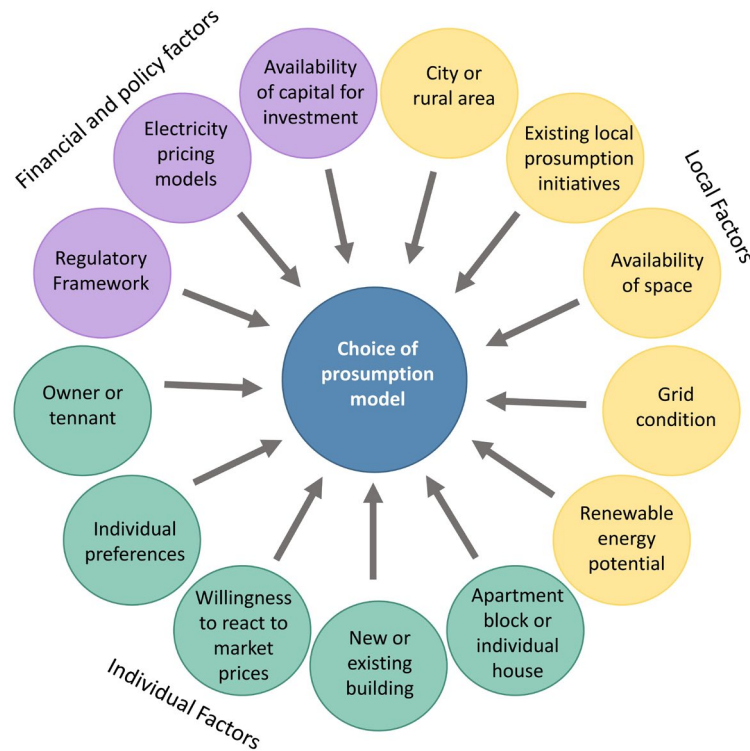


Figura 4: Factores de decisión según el estudio Energy Prosumers. [4]

La Directiva sobre energías renovables refundida y la Directiva del Mercado de la Electricidad definen varios tipos de prosumidores y establecen derechos y obligaciones detallados para cada uno. El paquete de políticas **'Fit for 55'** y, especialmente, el reciente plan REPowerEU destacan aún más el papel de los prosumidores como actores clave para unir las políticas del clima y la energía de Europa como objetivos de seguridad. Para su desarrollo son claves los esquemas de apoyo simples y estables, las tarifas justas para la energía consumida, las reglas claras sobre autoconsumo y unos trámites administrativos sencillos.

Un factor clave que permite o dificulta el prosumo y las CEL es la complejidad de la regulación. En el estudio de ENERGY PROSUMERS [4] se exponen algunos casos de apoyo estatal a su desarrollo:

“... el gobierno irlandés estableció un esquema de licitación que apoya exclusivamente proyectos Para ser elegible, los proyectos deben ser 100% propiedad por una comunidad de energía renovable y los miembros deben vivir cerca del proyecto (Autoridad de Energía Sostenible de Irlanda, 2021). El gobierno alemán también

presentó trato preferente a las comunidades energéticas en las licitaciones de proyectos eólicos en 2017; sin embargo, necesitaban adaptar esta regla en la próxima revisión para contrarrestar el uso indebido por parte de entidades que navegan bajo la bandera de una comunidad energética. En su definición de ‘energía ciudadana’, el German Renewable Energy Ley de Fuentes ref. derechos de voto, el 51% de los cuales deben provenir de personas que viven cerca del proyecto. No lo hizo, sin embargo, poner ninguna restricción sobre el origen de la inversión capital, lo que permite a las empresas más grandes redefinirse como proyectos de energía ciudadana [5]....”

Como se destaca en el plan REPowerEU, la complejidad regulatoria vinculados a la concesión de licencias, la conexión a la red y la administración los procedimientos en general también pueden ser un obstáculo para los más pequeños. proyectos, por ejemplo, intercambio de energía o comercio entre pares proyectos [6].

La reciente publicada convocatoria de OFICINAS DE TRANSFORMACIÓN COMUNITARIA (OTC) [7] en España, se presenta como fundamental para mejorar la información, aumentar la claridad y la previsibilidad respecto a los beneficios de las CEL y para los potenciales inversores, los ciudadanos y las pymes.

1.2 COMUNIDADES ENERGÉTICAS LOCALES (CEL)

La definición de CEL ha evolucionado en Europa y la normativa europea ha variado su definición en los últimos años.

La Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo de diciembre 2018 [8] relativa al fomento del uso de energías renovables, las define como una entidad jurídica que con arreglo al Derecho nacional aplicable, se base en la participación abierta y voluntaria, sea autónoma y esté efectivamente controlada por socios o miembros que están situados en las proximidades de los proyectos de energías renovables que sean propiedad de dicha entidad jurídica y que esta haya desarrollado; cuyos socios o miembros sean personas físicas, pymes o autoridades locales, incluidos los municipios; cuya finalidad primordial sea proporcionar beneficios medioambientales, económicos o sociales a sus socios o miembros o a las zonas locales donde opera, en lugar de ganancias financieras.

La Federación Europea de Cooperativas Energéticas (REScoop) [9] las definen como una entidad legal donde los ciudadanos, las PYMES y las autoridades locales se juntan. Donde actúan como usuarios finales de energía, buscando cooperar en la generación, la distribución del consumo, el almacenamiento, el suministro, la agregación de energía de fuentes renovables u ofrecer eficiencia energética y/o servicio de gestión de la demanda.

En el futuro sistema energético, la producción de electricidad será más descentralizado que en la actualidad, con un gran número de lugares de producción que producen pequeñas cantidades de energía. Paneles fotovoltaicos en tejados, pero también parques eólicos más grandes en la red de media tensión, son ejemplos de sistemas descentralizados de producción [10].

La normativa europea más reciente en relación a las comunidades energéticas se recoge en el “paquete de invierno”. El Paquete de Invierno también llamado paquete de Energía Limpia (**Clean Energy Package**) es un conjunto de normas que establecerán la política energética de los estados miembros de la Unión Europea hasta 2030. Esta iniciativa reconoce dos definiciones de “comunidades energéticas”:

- 1) **Comunidades energéticas de ciudadanos** CCE, incluida en la revisada Directiva del Mercado Interior de la Electricidad (EU) 2019/944 [11].
- 2) **Comunidades de energía renovable**, CER, incluida en la Directiva de Energía Renovable 2018/2001 [12].

Establece las condiciones y características que deben tener las comunidades de energía renovable en cuanto a su tamaño y su estructura de propiedad.

Estas dos normativas constituyen la primera ocasión en la que se posibilita un marco legal para la participación colectiva de los ciudadanos en el sistema de energía. Ambas directivas permiten que las comunidades energéticas se constituyan con diferentes formas jurídicas como asociaciones, cooperativas u otras. Ambos marcos normativos además se establecen las condiciones para que puedan operar en el mercado sin ser discriminadas y al mismo tiempo, sin distorsionar la competencia del mercado o sin afectar a derechos y obligaciones ya existentes de los actores en el mercado.

La Directiva de Energía Renovable 2018/2001 en el párrafo 4 establece que los Estados miembros deben proporcionar un marco propicio para promover y facilitar el desarrollo de las Comunidades Energéticas Renovables. Un marco que debería, entre otras cosas, asegurar, que:

- se eliminen las barreras reglamentarias y administrativas injustificadas a los CER;
- posibiliten poder operar en servicios energéticos comerciales;
- el gestor del sistema de distribución debe cooperar con los CER para facilitar las transferencias de energía dentro de los CER;
- las CER deberán estar sujetas a procedimientos justos, proporcionados y transparentes, incluidos los procedimientos de registro y concesión de licencias, y cargos de red que reflejen los costos, así como cargos, gravámenes e impuestos pertinentes;
- se debe proporcionar apoyo regulatorio y de desarrollo de capacidades desde las autoridades públicas, para habilitar y establecer CER, así como para la participación de las mismas autoridades locales.

1.2.1 Elementos conceptuales de las Comunidades Renovables de Energía CER, y las Comunidades Ciudadanas de Energía CCE

Gobernanza: la participación debe ser “abierta y voluntaria”. En la Directiva revisada sobre energía renovable, la participación en proyectos de energía renovable debe estar abierta a todos potenciales miembros locales basados en criterios no discriminatorios.

La Directiva revisada del mercado de la Electricidad establece que la membresía debe estar abierta a todas las categorías de entidades. Además, establece que “los clientes domésticos (hogares) deberían poder participar voluntariamente en iniciativas energéticas comunitarias, así como dejarlas, sin perder acceso a la red operada por la iniciativa energética comunitaria”.

Propiedad y control: Ambas definiciones enfatizan la participación y la eficacia control por parte de los ciudadanos, las autoridades locales y las pequeñas empresas cuya actividad principal no es el sector energético [13].

Propósito: El propósito principal es generar beneficios sociales y ambientales en lugar de centrarse en las ganancias financieras. Las directivas enmarcan a las comunidades energéticas como tipo de actores no comerciales que utilizan los ingresos de las actividades económicas para proporcionar servicios / beneficios para miembros y / o la comunidad local [13].

Al mismo tiempo, existen algunas diferencias entre las **Comunidades de Energía Renovable** y las **Comunidades Ciudadanas de Energía**.

Ámbito geográfico: la Directiva sobre energías renovables revisada establece que las comunidades locales estén “en las proximidades” de proyectos de energía renovable que pertenecen y son desarrollados por esa comunidad. El mercado de la electricidad revisado La Directiva no vincula a las comunidades energéticas ciudadanas con las inmediaciones ni con la misma ubicación geográfica entre generación y consumo.

Actividades: Las comunidades ciudadanas de energía operan dentro del sector eléctrico y pueden ser renovables y basada en combustibles fósiles (es decir, tecnología neutral). Las comunidades de Energía renovable cubren una amplia gama de actividades relacionadas con todas las formas de energía renovable en los sectores de la electricidad y la calefacción.

Participantes: Cualquier actor puede participar en una comunidad energética ciudadana, siempre que los miembros o accionistas que se dediquen a una actividad comercial a gran escala y para los que el sector energético constituye un área principal de actividad económica no ejerzan poder de decisión. Los participantes elegibles incluyen personas físicas, autoridades locales y micro, pequeñas, medianas y grandes empresas.

Las comunidades de energías renovables tienen una membresía más restringida y solo permiten personas físicas, autoridades locales y microempresas, pequeñas y medianas empresas cuya participación no constituye su actividad económica principal [3]. Se requiere además que los Estados miembros garanticen que los consumidores de bajos ingresos o hogares vulnerables puedan participar en comunidades de energía renovable.

Autonomía: según la Directiva de Energías Renovables, una comunidad de energía renovable “debe ser capaz de permanecer autónoma de los miembros individuales y otros actores tradicionales del mercado que participan en la comunidad como miembros o accionistas”. La definición de comunidades ciudadanas de energía no incluye autonomía; pero los poderes de toma de decisiones deben limitarse a esos miembros o accionistas que no se dediquen a una actividad comercial a gran escala y para los que el sector energético no constituye un área primaria o actividad económica [9].

Control efectivo: las comunidades de energía renovable pueden ser controladas efectivamente por microempresas, pequeñas y medianas empresas que están “ubicadas en las proximidades” del proyecto de energía renovable; mientras que las comunidades ciudadanas de energía excluyen a las medianas y las grandes empresas de poder ejercer un control efectivo [9]. La Directiva sobre el mercado de la electricidad define el control como “la posibilidad de ejercer influencia decisiva en una empresa, en particular por: (a) la propiedad o el derecho a utilizar la totalidad o parte de los activos de una empresa; (b) derechos o contratos que confieren influencia decisiva en la composición, votaciones o decisiones de los órganos de una empresa”.

Las transposiciones nacionales de estas normas, puede dar lugar a estructuras diferentes o con características específicas a nivel de cada país. Las fórmulas de implantación de las comunidades energéticas varían en Europa, pero se estima que hay unas 3.500 “cooperativas de energía renovable” (que son una forma de comunidad energética) y que está más extendida en el noroeste europeo. Este número es mayor al incluir otro tipo de figuras como “eco-pueblos”, “organizaciones de micro-calentamiento” u otro tipo de proyectos liderados por grupos de ciudadanos.

La siguiente figura 5 elaborada por el IDAE muestra el marco normativo europeo y español de las características que deben cumplir las dos entidades jurídicas:

Marco Normativo Europeo y Español	
Comunidad de energías renovables	Comunidad ciudadana de energía
Directiva de Energías Renovables, artículo 2.16.	Directiva del Mercado Interior de Electricidad, artículo 2.11.
<p>“16) «comunidad de energías renovables»: una entidad jurídica:</p> <p>a) que, con arreglo al Derecho nacional aplicable, se base en la participación abierta y voluntaria, sea autónoma y esté efectivamente controlada por socios o miembros que están situados en las proximidades de los proyectos de energías renovables que sean propiedad de dicha entidad jurídica y que haya desarrollado;</p> <p>b) cuyos socios o miembros sean personas físicas, pymes o autoridades locales, incluidos los municipios;</p> <p>c) cuya finalidad primordial sea proporcionar beneficios medioambientales, económicos o sociales a sus socios o miembros o a las zonas locales donde opera, en lugar de ganancias financieras;”</p>	<p>“11) «comunidad ciudadana de energía»: una entidad jurídica que:</p> <p>a) se basa en la participación voluntaria y abierta, y cuyo control efectivo lo ejercen socios o miembros que sean personas físicas, autoridades locales, incluidos los municipios, o pequeñas empresas,</p> <p>b) cuyo objetivo principal consiste en ofrecer beneficios medioambientales, económicos o sociales a sus miembros o socios o a la localidad en la que desarrolla su actividad, más que generar una rentabilidad financiera, y</p> <p>c) participa en la generación, incluida la procedente de fuentes renovables, la distribución, el suministro, el consumo, la agregación, el almacenamiento de energía, la prestación de servicios de eficiencia energética o la prestación de servicios de recarga para vehículos eléctricos o de otros servicios energéticos o sus miembros o socios;”</p>

Figura 5: Las Comunidades energéticas según Marco Normativo Europeo y Español. [1,8]

Fuente: directiva de energías renovables y directiva del mercado interior de electricidad

Las comunidades energéticas varían en cuanto a su naturaleza jurídica y también el tipo de actividades que realizan. La mayoría, sobre todo las más pequeñas, se centran en la generación de energía, pero cada vez son más las que desarrollan otro tipo de actividades como proveedores de energía y de servicios energéticos. Estas pueden incluir: la generación de activos (principalmente solares, eólicos, hidroeléctricos) y donde los miembros no consumen la energía por sí misma producida, sino también la transportan a la red y posteriormente la venden a un proveedor, figura 6 [14].

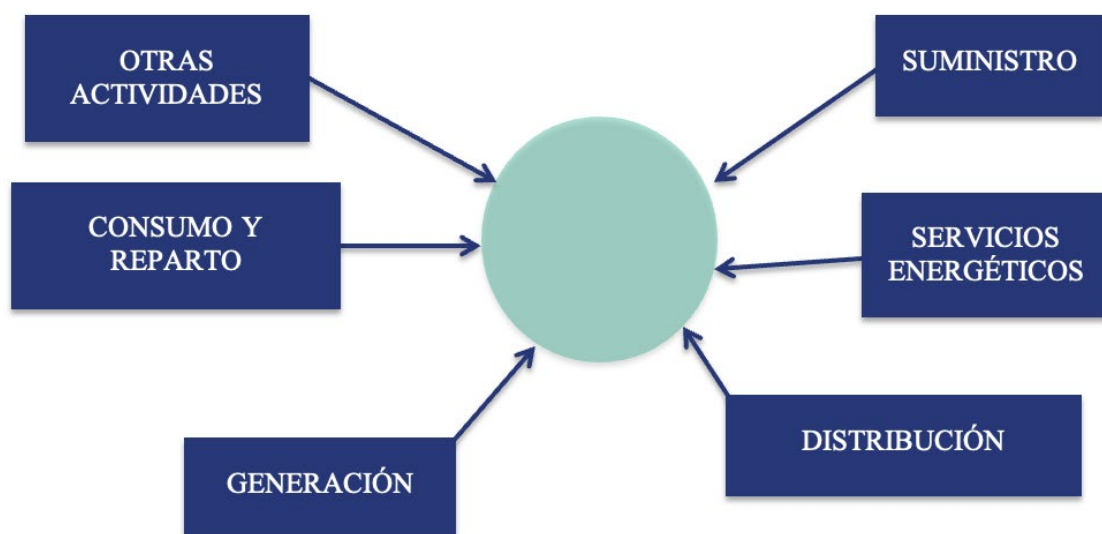


Figura 6: Actividades que desarrollan las CEL. [Elaboración propia]

Generación: Proyectos comunitarios de energía que utilizan o poseen colectivamente.

Suministro: Venta (y reventa) de electricidad y gas a clientes (electricidad, madera pellets, biogás y otros). Las grandes comunidades pueden tener una gran cantidad de clientes minoristas en su vecindad, y también pueden participar en actividades de agregación que combinan cargas del cliente y flexibilidad o generar electricidad para la venta, compra o subasta en mercados de electricidad [13].

Consumo y reparto (sharing): Se utiliza la energía producida por la comunidad energética y se comparte dentro de la comunidad. Esto incluye tanto el consumo (individual y autoconsumo colectivo) y el intercambio local entre los miembros de la energía producida por las instalaciones generadoras dentro de una comunidad.

Distribución: Propiedad y / o gestión de las redes de distribución gestionadas por la comunidad, tales como redes eléctricas locales o la calefacción urbana a pequeña escala o redes de biogás. A menudo las cooperativas pueden hacer tanto la generación como la distribución de energía, pero la infraestructura de red es fundamental para su negocio [15].

A falta de la trasposición normativa nacional, en la figura 7 se presentan los siguientes cuadros comparativos de las normativas elaboradas por el IDAE [16]:

COMUNIDAD DE ENERGÍAS RENOVABLES Directiva de Energías Renovables	COMUNIDAD CIUDADANA DE ENERGÍA Directiva del Mercado Interior de la Electricidad
<p>Art. 22: “2. Los Estados miembros garantizarán que las comunidades de energías renovables tengan derecho a:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) producir, consumir, almacenar y vender energías renovables como en particular mediante contratos de compra de electricidad renovable; b) compartir como en el seno de la Comunidad de energías renovables como la energía renovable que produzcan las unidades de producción propiedad de dicha Comunidad de energías renovables, a condición de cumplir los otros requisitos establecidos en el presente artículo y a reserva de mantener los derechos y obligaciones de los miembros de la Comunidad de energías renovables en tanto que consumidores; c) acceder a todos los mercados de la energía adecuados tanto directamente como mediante agregación de manera no discriminatoria.(...) <p>4. Los Estados miembros proporcionarán un marco facilitador que permita fomentar y facilitar el desarrollo de las comunidades de energías renovables. Dicho marco facilitador garantizará como entre otras cosas como que:(...)</p> <ul style="list-style-type: none"> b) las comunidades de energías renovables que suministren energía o proporcionen servicios de agregación u otros servicios energéticos comerciales estén sujetas a las disposiciones aplicables a tales actividades; (...) e) las comunidades de energías renovables no reciban un trato discriminatorio en lo que atañe a sus actividades, derechos y obligaciones en tanto que clientes finales, productores, gestores de redes de distribución, suministradores, o en tanto que otros participantes en el mercado;” 	<p>Art. 2: “11. «comunidad ciudadana de energía»: una entidad jurídica que: (...)</p> <ul style="list-style-type: none"> c) participa en la generación, incluida la procedente de fuentes renovables como la distribución como el suministro como el consumo como la agregación como el almacenamiento de energía, o la prestación de servicios de eficiencia energética o como la prestación de servicios de recarga para vehículos eléctricos o de otros servicios energéticos a sus miembros o socios; <p>Art. 16: 2. Los Estados miembros podrán disponer en el marco jurídico favorable que las comunidades ciudadanas de energía: (...)</p> <ul style="list-style-type: none"> b) tengan derecho a poseer, establecer, adquirir o arrendar redes de distribución y gestionarlas autónomamente con arreglo a las condiciones establecidas en el apartado cuatro del presente artículo;(…) <p>3. Los Estados miembros garantizarán que las comunidades ciudadanas de energía:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) puedan acceder a todos los mercados organizados directamente o a través de la agregación de forma no discriminatoria; b) se beneficien de un trato no discriminatorio y proporcionado en lo que atañe a sus actividades, derechos y obligaciones como clientes finales, generadores, suministradores, gestores de redes de distribución o participantes en el mercado que presten servicios de agregación; (...) e) tengan derecho a organizar dentro de la comunidad ciudadana de energía un reparto de la electricidad producida por las unidades de producción que pertenezcan a la comunidad, cumpliendo otros requisitos establecidos en el presente artículo como y a conservar los derechos y obligaciones de los miembros de la comunidad como clientes finales.(...) <p>4. Los Estados miembros podrán decidir la concesión a las comunidades ciudadanas de energía del derecho a gestionar redes de distribución en su zona de operaciones y definir los procedimientos correspondientes, sin perjuicio de lo dispuesto en el capítulo cuarto y de otras normas y reglamentaciones aplicables a los gestores de redes de distribución.”</p>

Figura 7: Características de las Comunidades energéticas según Marco Europeo y Español. [1,8]

1.2.2 Tipos de Estructuras Legales

En la Tabla 2 elaborada por Joint Research Centre de la UE (JRC), [17], se observan las diferentes estructuras legales que presentan las CEL.

Tabla 2: Diferentes estructuras legales en las CEL. [17]

DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN
Cooperativas de energía	Esta es la forma de comunidades de energía más común y que más ha crecido. Este tipo de propiedad beneficia principalmente a sus miembros. Es popular en países donde las energías renovables y la energía comunitaria están relativamente avanzadas.
Sociedades limitadas (Limited partnership)	Una sociedad/asociación puede permitir que las personas distribuyan responsabilidades y generen ganancias participando en la energía comunitaria. La gobernanza se basa generalmente en el valor del “share” de cada socio, lo que significa que no siempre funcionan de acuerdo a “un miembro, un voto”.
Community trust (Fideicomisos comunitarios) y fundaciones	Su objetivo es generar valor social y desarrollo local más que beneficios para sus miembros. Las ganancias se utilizan para la comunidad en su conjunto, incluso cuando los ciudadanos no tienen los medios para invertir en proyectos (empresas de bien público) (for the public good companies)
Housing associations Asociaciones de vivienda (comunidades de vecinos¿?)	Asociaciones sin ánimo de lucro que pueden ofrecer beneficios a los inquilinos en viviendas sociales, aunque pueden no participar directamente en la toma de decisiones. Estas formas son ideales para abordar la pobreza energética.
Empresas propiedad de clientes sin fines de lucro	Estructuras legales utilizadas por las comunidades que se ocupan de la gestión de redes (grid networks) independientes. Ideal para redes comunitarias de calefacción, comunes en países como Dinamarca.
Asociaciones Público-privadas	Las autoridades locales pueden establecer acuerdos con grupos de ciudadanos y empresas con el fin de garantizar el suministro de energía y otros beneficios para una comunidad.
Empresa de servicios públicos (Public Utility Company)	Las empresas de servicios públicos son gestionadas por los municipios, que invierten y gestionan la utilidad/infraestructura en nombre de los contribuyentes y ciudadanos. Estas formas son menos comunes, pero son especialmente indicadas para zonas rurales o aisladas.

El grupo del Program of Energy Technology Collaboration de la UE, UsersTCP [18], analiza los sistemas de energía centrados en el usuario, y trabaja por proporcionar evidencias de la investigación socio-técnica en el diseño, la aceptación social y el uso de las tecnologías en energía limpia, y tratando de informar la formulación de políticas para las transiciones de energía eficiente, limpia y segura. Este grupo está trabajando en una visión general de la situación en varios países de la UE, y trata de mostrar cómo puede facilitarse en cada uno de ellos el desarrollo de las Comunidades Energéticas. Como resultado, se ha llevado a cabo una categorización de las comunidades energéticas, lo que lleva a las 10 clases que se exponen en el cuadro. Los aspectos más importantes para la clasificación son la

participación y estructura organizativa, la estructura de propiedad, las actividades que se desarrollan en materia de energía y el propósito principal de la comunidad energética.

Otra de las categorizaciones de las CEL la realiza la Comisión Europea [19], en función de sus actividades, personas físicas y jurídicas que las compone, así como la persona jurídica que le da forma a la CEL, en la tabla 3 se muestran las clases de las Comunidades Energéticas. BRIDGE es una iniciativa de la Comisión Europea que une los proyectos de redes inteligentes y almacenamiento de energía de Horizon 2020, para crear una visión estructurada de los problemas transversales que se encuentran en los proyectos de demostración y que pueden constituir un obstáculo para la innovación.

Tabla 3: Clases de Comunidades Energéticas. [19]

Clase 1	Generación colectiva y Comercialización de electricidad	todo tipo de agrupaciones territoriales o comerciales de productores, ya sea que operen el mercado o bajo mecanismos de inyección (a menudo llamados Centrales Eléctricas Virtuales)
Clase 2	Generación-Consumo Comunidades	Abastecimiento certificado de electricidad en un grupo cerrado de generadores y consumidores – no necesariamente en proximidad, sino incluyendo mercados energéticos locales o regionales
Clase 3	Residencial colectivo y autoconsumo industrial	Generación, almacenamiento y consumo en casos residenciales con múltiples vivienda; incluye Tenant-Power (Mieterstrom) – modelos
Clase 4	Distritos de energía positiva	Con entidades residenciales y comerciales que operan su suministro de energía sistemas bajo su propio régimen
Clase 5	Islas de energía	Islas reales o partes del sistema de distribución que pueden funcionar de forma independiente (por ejemplo, sistema celular como en SINTEG, modelo holónico como en PolyEnergyNet)
Clase 6	Servicios públicos municipales	Existentes para la producción, el suministro y la operación de la red de energía control ciudadano, directo (por ejemplo, cooperativo) o indirecto (por ejemplo, controlado por autoridades locales) gobierno)
Clase 7	Agregación financiera y la inversión	Una “comunidad” de inversores se une para escalar la cantidad de inversión en sistemas de generación (sin mayor participación en la organización etc.)
Clase 8	Financiación cooperativa de Rendimiento energético	Ciudadanos que invierten conjuntamente en medios de eficiencia de las pymes y los municipios, posiblemente en su propia región (por ejemplo, contratación / ESCO, financiación participativa)
Clase 9	Servicio colectivo Proveedores	Todos los tipos de agrupaciones comerciales de servicios energéticos (por ejemplo, agrupaciones de estaciones de carga, agregación de servicios de gestión de la demanda)
Clase 10	Suministro digital y Respuesta a los sistemas de Demanda	Todos los tipos de sistemas de energía controlados digitalmente (p. ej., blockchain), en estos días posiblemente operó como un modelo de caja de arena

La estructura preparatoria y el enfoque de planificación para la creación de una comunidad energética son de suma importancia para el éxito o el fracaso. El informe COME RES [20] aborda desde la estructura financiera las Comunidades Energéticas, analizando su control interno y su autonomía.

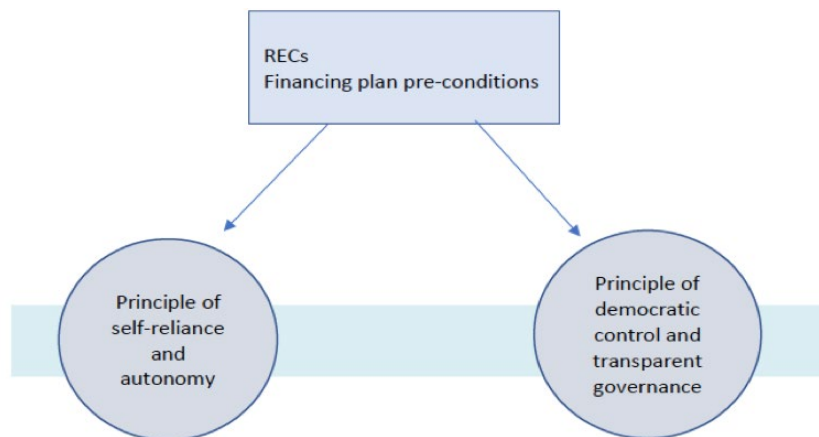


Figura 8: Estudio de Energy Prosumidores. Estudio COM RES. [20]

La Tabla 4 nos muestra como los beneficios sociales se deben principalmente a iniciativas colectivas de prosumidores. Las iniciativas individuales de prosumidores contribuyen sólo al empoderamiento y la aceptación pública. En los modelos colectivos de prosumidores existen en una amplia variedad de formas y posibilidades de participar.

Tabla 4: Resumen de los beneficios de los distintos tipos de prosumidor. [20]

Benefits	Individual prosumers	Collective prosumers	SMEs and public organisations
Environmental			
GHG emission reduction	All types of renewable energy prosumers contribute to reducing GHG emissions when compared with fossil-fuel based systems.		
Reduction in land required for renewable energy production	Rooftop PVs can reduce the amount of land used for RESs; heat pumps may reduce biomass use; and local production and use can reduce the need for transmission lines.	Same benefits can be achieved as for individual prosumers, but land-based PV installations or wind turbines are also possible.	
Social			
Public support for RES	All types of prosumer models contribute to public support for RES.		
Empowerment	All types of prosumer models increase empowerment, since citizens/parties are (partly) responsible for their own energy supply. Not all citizens may have the opportunity to invest and get actively involved, but our case studies of Som Energía and Compile do illustrate that investment requirements can be low.		
Sense of community	Limited.	Prosumers from a community work together to produce their energy.	Depends — citizens from a community may work together.
Fairness of distribution of benefits	Allows participation of those citizens who own buildings.	All participants in a community or collective could benefit from RES technology.	At least allows participation of SMEs and public organisations acting for the benefit of the community.
Financial			
Benefits and revenues for prosumer	Depends on various factors, e.g. type of business model, costs of prosumer technology and policy framework.		
Less grid investment	The effect on grid investment is highly dependent on the local grid conditions.	If the collective is local, decrease in energy transport depending on local grid conditions.	The effect on grid investment is highly dependent on the local grid conditions.
Access to finance for RESs	All prosumer models create access to funds for investment in renewable energy projects.		

1.2.3 Financiación de las Comunidades Energéticas

Uno de los aspectos fundamentales en las Comunidades Energéticas es la financiación de su puesta en funcionamiento. Como se puede comprobar en los distintos países estudiados, la fórmula jurídica y la planificación marcarán el camino de esta financiación.

Desde el informe COME RES [20] se detectan múltiples problemas y barreras para las Comunidades Energéticas Renovables en los Estados miembros de la UE por motivos estructurales y financieros. Pero la financiación es sin duda un tema crucial. Para conseguir la UE sus objetivos los ciudadanos a través de las Comunidades Energéticas pueden ser la clave. Esto ha sido reconocido por el Paquete de Energía Limpia de la UE, en particular. Las investigaciones recientes cuantifican en 176 000 millones de euros el presupuesto que los ciudadanos europeos podrían aportar a través de planes de inversión colectiva en este cambio de modelo energético en un plazo de diez años, y esto fomentaría la participación ciudadana a través de inversiones colectiva.

Del mismo modo desde IRENA [21] se advierte de la necesidad de movilizar billones de dólares para conseguir los objetivos climáticos del planeta, y en el informe de Perspectivas y soluciones globales presentado en la cumbre Naciones Unidas, *Perspectivas y soluciones globales 2016-2020* [22] aparece que las necesidades de financiación privada fueron del 22% al 33%.

La Tabla 5 del estudio COM RES ofrece una descripción general de las barreras más comunes y retos e indica como afecta, destacando la financiación como uno de los aspectos que se interrelaciona con el resto.

Tabla 5: Resumen de barreras y desafíos para los distintos tipos de prosumidores. [20]

Barrier	Individual prosumers	Collective prosumers	SMEs and public organisations
Legislative			
The current, uncertain legislative setting	Regulation for individual prosumers is relatively well developed.	The rules for energy production by collectives, e.g. energy communities, are not clear in some countries (Toporek and Campos, 2019).	Relatively clear rules when acting as individual prosumer entities. Less clear when acting as part of a collective.
Financial			
High cost to end consumers	Depends on the specific case and the country-specific regulations. Not all prosumer models have a viable business case.		
Access to finance	Investments in RES technologies are significant. Depending on the country and individual context, it may be difficult for individual prosumers to get the necessary financing.	Sometimes. It is easier for collective prosumers to get the necessary financing, since the investment is split between all participants in the collective.	Sometimes. It is easier for SMEs and public organisations to get access to finance than households, but the investments required are also larger.
Technical			
Required energy infrastructure not present	Self-consumption with PV panels usually requires no additional energy infrastructure.	Yes. Usually, power grid reinforcement is necessary for new collective prosumer projects, e.g. wind turbines or solar fields. This is perceived as one of the main negative factors by collectives (Horstink et al., 2019).	Self-consumption with PV usually requires no additional energy infrastructure.
Lack of knowledge			
Lack of knowledge of legislation, policies and renewable energy technologies	Often, households have little specialist knowledge.	Since collectives have multiple members, they have more knowledge. However, legislation for collectives is usually more complex. This is perceived as one of the main negative factors by collectives (Horstink et al., 2019).	Depends. Some SMEs and public institutions have knowledge of legislation and policies, but certainly not all of them. One challenge here is that energy is not the core business of most SMEs and therefore is often neglected.

Los instrumentos financieros en la UE se agrupan en estos principales conceptos:

- El autoconsumo para producir y comerciar excedentes individual o colectivamente a través de las Comunidades Energéticas, lo que permite realizar una inversión inicial y conjunta mejorando la posición en la cadena de valor.
- Los apoyos locales a través de las administraciones que buscan involucrar a todos los actores y proteger la vulnerabilidad energética.
- Apoyos financieros y de desarrollo externos que permiten mejorar la posición en el sistema a las Comunidades Energéticas, dotándoles de tecnología, recursos y avanzando en eficiencia y movilidad eléctrica.

Cada modelo organiza su funcionamiento financiero encontrando tanta diversidad financiera como modelos de las CEL, tal y como se puede apreciar en la siguiente Figura 9 y en la tabla 6.

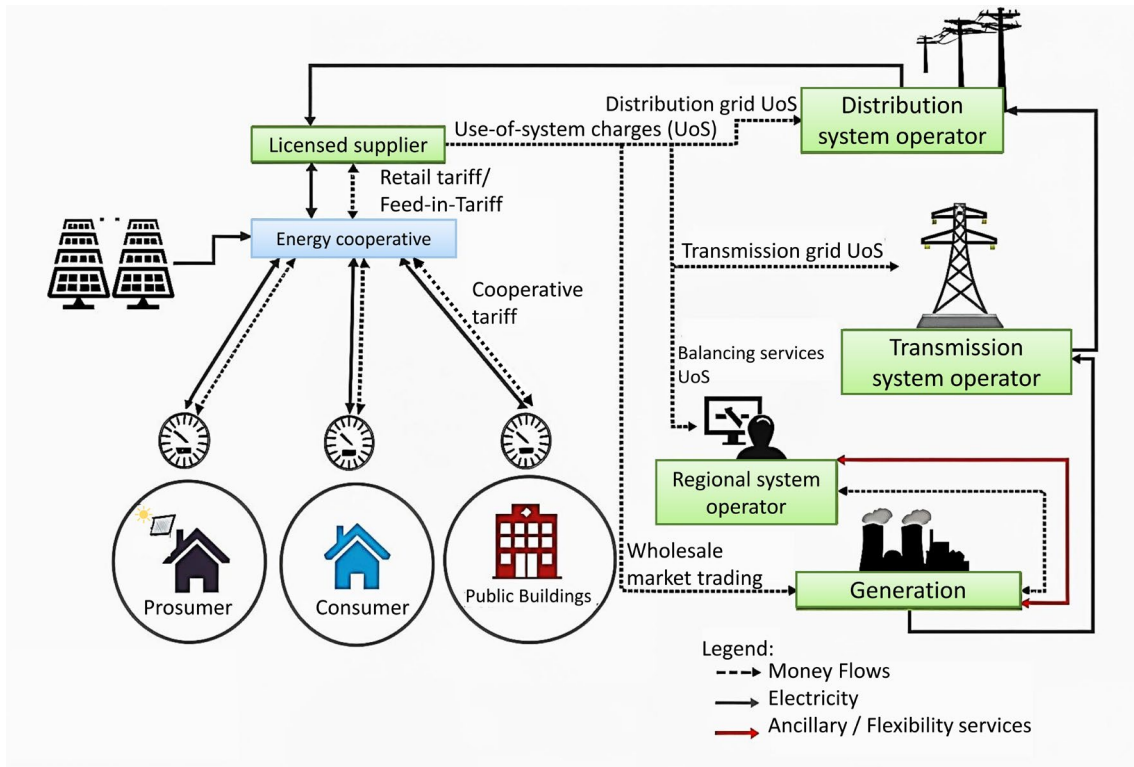


Figura 9: Distintos niveles de estructuras que participan en la constitución y funcionamiento de una CEL vienen reflejados en el cuadro del estudio COM RES. [20]

Tabla 6: Modelos de comunidades energéticas según Reis et al Business models. [23]

<p>KEY PARTNERS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Community members • Technology manufacturers • Technical know-how providers (engineers, lawyers, accountants, etc.) • External investors • DSO and other network operators • Municipalities and public entities 	<p>KEY ACTIVITIES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Local generation and supply • Aggregation • Services Provision • System Operation • New members recruitment <p>KEY RESOURCES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Members • Physical conditions • Available funding • Regulatory framework • Public incentives 	<p>VALUE PROPOSITION</p> <ul style="list-style-type: none"> • Economic value • Environmental value • Social value • Energy self-sufficiency • Distribution of costs and responsibilities 	<p>CUSTOMER RELATIONSHIPS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Personal and direct contact <p>CHANNELS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Face-to-face meetings 	<p>CUSTOMER SEGMENTS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Households • SMEs • Public entities
<p>COSTO STRUCTURE</p> <ul style="list-style-type: none"> • Technical and economic feasibility studies • Planning and licensing costs • Capital costs for building and installing assets • Public grid usage costs • Reinvestment costs to maintain, improve and increase the existing infrastructure • Procurement costs • Outsourcing costs 			<p>REVENUE STREAM(S)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sale of community member's shares • Sale of energy to other consumers • Sale of generation surplus • Sale of aggregated demand flexibility • Subsidies or long-term contracts between the government and renewable energy producers 	

Reis et al Business models for energy communities [23], en un estudio financiado por la UE identifica las preguntas clave a responder en la preparación del plan financiero:

- *¿Cuánto financiamiento se necesita? Esta pregunta se relaciona no solo con la cantidad de dinero que debe movilizarse, sino también con el mejor momento en el que necesita movilizar (partes de) este dinero.*
- *¿Cuáles son los cuellos de botella en el plan de financiación?*
- *¿Qué tipo de financiación es adecuada? El proyecto debe analizar el resultado objetado para el REC y la validez y sostenibilidad de los respectivos REC.*
- *¿Qué modelo de propiedad es mejor para el proyecto? El objetivo de una comunidad energética debe ser permanecer autónomo y democrático, ser transformador.*

Este proyecto sugiere que la construcción de la estructura de la propiedad debe ser una parte fundamental en la respuesta al modelo y vehículo financiero, y debe de mantener de manera equilibrada sus balances.

Por lo tanto, la planificación correcta del vehículo financiero viene estrechamente relacionado con el vehículo de propiedad y participación de las Comunidades Energéticas. Es fundamental la PLANIFICACIÓN previa antes de la puesta en marcha del proyecto. La elección de la estructura de la sociedad marcará el devenir de las relaciones internas y de su base sólida económica.

Para conseguir desarrollar el plan financiero se necesitan marcos legales que tengan principios básicos en la financiación a través de Fondos públicos:

- a) Claridad y certeza, apoyando los primeros proyectos-piloto con mejores condiciones y seguras.
- b) Minimizar las posibilidades de riesgo en el sector.
- c) Eliminar las incertidumbres impositivas que provoquen dudas en el financiador.

La financiación y la propiedad de las CEL son dos ideas que en si forman una sola. El proyecto Com-pile [24] sugiere en que la construcción del vehículo de la propiedad debe ser parte de la discusión financiera.

En otro apartado podemos citar los problemas de proximidad que en algunos países se solicitan para establecer una CEL, como una barrera de acceso a la financiación, dado que nos encontramos con limitaciones de acceso a socios potenciales, inter-colaboraciones entre CEL, o como en España donde hasta recientemente no se podía compartir la energía en media tensión que dejaba fuera empresas y edificios con esa necesidad. Hoy el acceso a la posibilidad de compartir energía a 2.000 metros del punto de producción establecido en el REAL DECRETO LEY 20/2022 de 27 de Diciembre [25] establece que:

*También tendrá la consideración de instalación de producción próxima a las de consumo y asociada a través de la red, aquella planta de generación que empleando exclusivamente tecnología fotovoltaica ubicada en su totalidad en la cubierta de una o varias edificaciones, en suelo industrial o en estructuras artificiales existentes o futuras cuyo objetivo principal no sea la generación de electricidad, esta se conecte al consumidor o consumidores a través de las líneas de transporte o distribución y siempre que estas se encuentren a una distancia inferior a **2.000 metros de los consumidores asociados...**"*

Esta modificación legislativa nos acerca a los modelos francés y portugués en estos momentos. Sin duda alguna que los modelos basados en estructuras donde la capacidad económica no se convierta en una barrera más, es sin duda un objetivo que puede ser apoyado desde las administraciones locales y regionales para fomentar los modelos que así lo fomenten.

Instrumentos financieros

Dada la heterogeneidad europea no existe un enfoque único para todos los instrumentos de financiación. Las situaciones previas en las diversas regiones respectivamente de los Estados miembros son muy diferentes. Comenzando por la falta de trasposición homogénea de los Reglamentos y Directivas que nos afectan, y continuando por las barreras típicas de un modelo financiero.

Alemania interrumpió su desarrollo asociativo energético que fomentaba las CEL en 2013, más basado en su larga tradición de eficiencia local y asociativa, frente a otros países como Italia que mantuvieron el apoyo a diferentes iniciativas sin tener una definición clara de CEL.

Las barreras que encuentran las CEL en los distintos Estados Miembros de la UE pueden agruparse en:

- Identificar modelos económicos.
- Barreras regulatorias.
- Barreras en la toma de decisiones sobre inversiones.
- Acceso a crédito y recursos financieros.
- Costos de energía relativamente bajos.

En el marco regulatorio nacional, podemos encontrar factores que favorecen la propiedad local y las CEL. En este sentido en distintos estudios se cita a España como ejemplo pionero en una estructuración clara a través del PLAN ESPAÑOL de RECUPERACIÓN, TRANSFORMACIÓN Y RESILIENCIA [20].

Por otra parte, la dimensión del proyecto también es una barrera como citábamos antes para acceder a diferentes cuestiones principalmente de interés, financieras, tecnológicas, y de economía de escala. Basarlo en voluntariado puede hacer fracasar el proyecto al medio plazo, dado que se puede carecer de una visión profesional estratégica.

En otros países se encuentran obstáculos legislativos, como por ejemplo la legislación polaca a la hora de funcionar la compra-venta de acciones entre socios de las cooperativas como una barrera significativa.

Fondos europeos

El impulso de la Financiación europea a través de los fondos Next Generation está siendo el motor financiero de arranque en muchos países de la UE, y están posibilitando el desarrollo de los proyectos de Energías Renovables en general. No obstante, la Comisión Europea y el Banco Europeo de Inversiones (BEI) deben seguir facilitando en general, el acceso a la herramienta de inversión del Fondo Europeo para Inversiones Estratégicas, y esto debe permitir que accedan los pequeños municipios, las ciudades, islas, PYME, y por ende las comunidades energéticas, a esta financiación que les permita el desarrollo de sus proyectos de energía sostenible.

El marco financiero plurianual de la UE 2021-2027 y el programa Next Generation EU ofrecen varias opciones, con convocatorias específicas. Los Fondos Estructurales y Regionales, así como los fondos de la política de Cohesión a través de los PROGRAMAS OPERATIVOS NACIONALES desarrollan las políticas y opciones nacionales con la financiación de la UE. Figura 10.



Figura 10: Proyectos financiados en España por el programa CE IMPLEMENTA. [16]

La mayor parte de la financiación de la transición energética será privada, pero se impulsará parcialmente con financiación pública, incluida la procedente de la UE. El Mecanismo de Recuperación y Resiliencia ya ha destinado al menos 19 000 millones de euros para acelerar el despliegue de las energías renovables. Existen otros instrumentos que contribuyen a este esfuerzo: los fondos de la política de cohesión, InvestEU, el Fondo de Innovación, el Fondo de Modernización, Horizonte Europa y el programa LIFE. El Mecanismo «Conectar Europa» en el ámbito de las fuentes de energía renovables y el mecanismo de financiación de energías renovables de la UE apoyarán la cooperación transfronteriza en proyectos de energía solar.

Acceso a las vías de financiación

Dentro de las opciones de información Coolkit de RESCoop [26] es la guía más actualizada en la actualidad. Destacan también las financiaciones mixtas de tamaños pequeños, o bien la unión de varias estructuras locales para conseguir el interés de los financiadores privados.

En este sentido los financiadores privados buscan garantías de funcionamiento a los niveles jurídicos, técnicos y financiero. Este enfoque de financiamiento de deuda y capital para proyectos de energía renovable de pequeña y mediana escala fue diseñado para ayudar a crear asociaciones entre los inversionistas de energía de la comunidad.

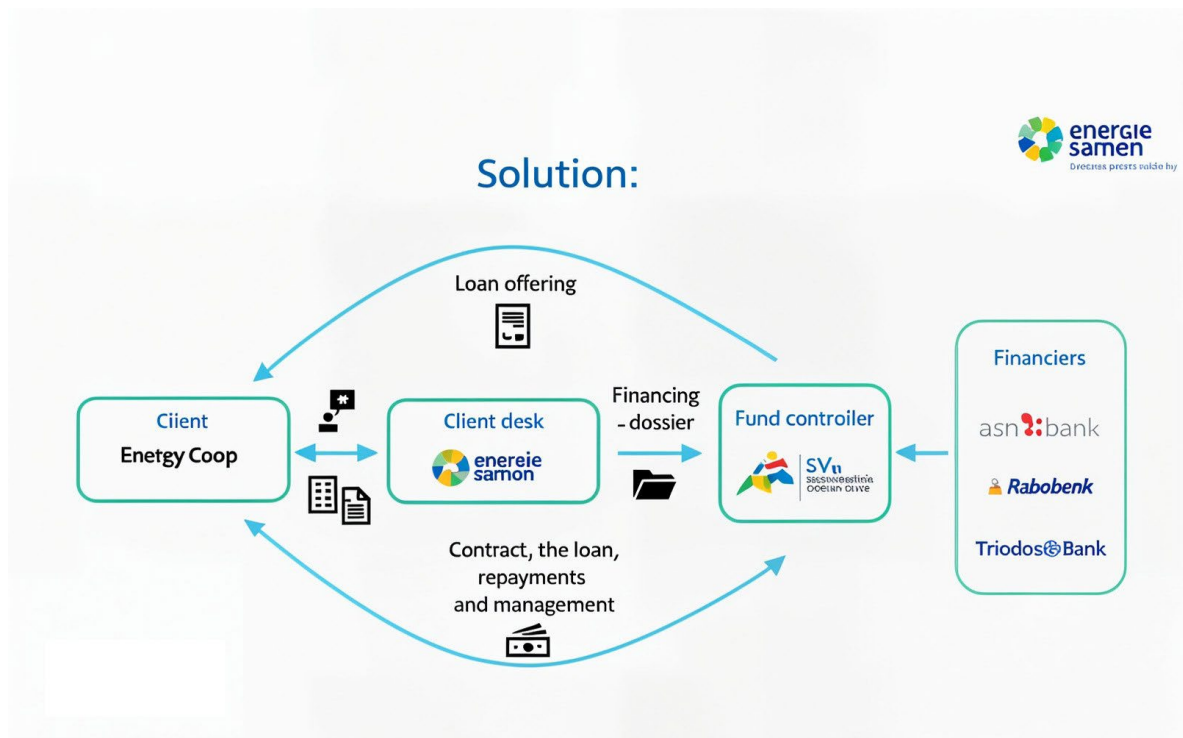


Figura 11: Proyecto Realisatiefonds, Países Bajos. [7]

Como se observa en el diagrama de la figura 11, en 2022 se puso en marcha el Realisatiefonds en Países Bajos, [27], para cooperativas energéticas. En dos años y medio 43 comunidades energéticas han recibido préstamos para la fase de construcción de sus proyectos fotovoltaicos a gran escala.

Por otra parte, en Polonia el movimiento cooperativo utiliza el sistema mixto de aportaciones y préstamo que permite abordar el proyecto.

Equityfunding

Este sistema está extendido en el funcionamiento financiero de las CER combinando la captación de capital privado con el apoyo público. Tanto cooperativas como asociaciones están utilizando las acciones o participaciones en la captación de los socios. A las personas o pymes se les propone la compra de acciones, y los que compran acciones se convierten en accionistas de la empresa porque han recibido participación en la propiedad. Este conjunto de acciones establece el capital social de un CEL, es una deuda a largo entre la entidad y sus socios. Estas acciones pueden ser compradas por externos, otros socios o la misma entidad jurídica.

Financiación de la deuda

A través de entidades financieras se consigue un préstamo que soporta la inversión.

En el estudio de esta tesis doctoral, se comprobará que el sistema utilizado, TODA ENERGÍA para la financiación, se realizará con el sistema de devolución del préstamo indexado al consumo de la energía de sus socios. En este caso es el Ayuntamiento el que avala con su consumo energético el inicio del sistema. En el mismo proyecto se da la opción a que desde las entidades locales se puede subvencionar el inicio del proyecto, o servir de avalista de funcionamiento y de consumidor garantista.

Crowdfunding con y sin participación comunitaria está siendo otra herramienta para tener en cuenta. En este sentido están surgiendo plataformas específicas crowdfunding para el asesoramiento y la orientación en los Estados miembros de la UE. Desde la guía REScoop Coolkit se indica que puede ser una importante herramienta de comienzo del proyecto de las CEL.

Las plataformas de financiación colectiva de blockchain con el despliegue de la digitalización puede ser un futuro de desarrollo interesante. En la isla croata de Krk se cita el proyecto cooperativo.

Desde el informe COM RES se concluye que en muchas ocasiones que las CEL se rigen más por motivos éticos ambientales/socioecológicos y, a menudo, no ven el margen de beneficio como un interés principal, sin embargo, juega un papel trascendental cuando se trata de una CEL nueva. En todos los estudios realizados se concluye que el acceso a la financiación y los inversores necesita mucha claridad sobre el objetivo y el diseño de los CEL.

Uno de los ejemplos que destaca el informe es que España por su claridad el apoyo y la financiación pueden obtenerse de todos los niveles, desde el nacional hasta el local de la sociedad. Esto se consigue con el citado Plan de Resiliencia. También Italia dedica un gran esfuerzo financiero a los pueblos de menos de 5.000 habitantes. Portugal no ha conseguido apoyar el desarrollo de las CEL, y en Alemania en su Land Schleswig-Holstein, se estableció en 2018 como un fondo rotatorio para ciudadanos, proporcionando capital de riesgo para proyectos de energía. Finalmente citar que en Grecia han desarrollado tres sistemas que tienen como objetivo garantizar que los prosumidores contribuyan financieramente a los costos de mantenimiento de la red y limitar los aumentos de costos para no prosumidores [28].

1.3. ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES, ECONOMÍA CIRCULAR Y OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE CONCERNIENTES A COMUNIDADES ENERGÉTICAS

El acceso a energía limpia y asequible es crucial para el desarrollo de diversos sectores como la agricultura, la educación y la sanidad. Sin embargo, el progreso es lento y se estima que, en 2030, 660 millones de personas seguirán sin electricidad y 2000 millones dependerán de combustibles contaminantes [29].

El consumo de energía es la principal causa del cambio climático, representando el 60% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero. Como podemos ver en la Tabla 11, la tasa de acceso a la electricidad ha mejorado, pero aún queda mucho por hacer. Un sistema energético consolidado es esencial para el funcionamiento de todos los sectores. Sin electricidad, muchas actividades cotidianas y económicas se ven gravemente afectadas. Para alcanzar el acceso universal a la energía en 2030, es necesario acelerar la electrificación, invertir en energías renovables, mejorar la eficiencia energética y desarrollar políticas adecuadas. Las acciones individuales también pueden contribuir significativamente a este objetivo.

Tabla 7: Comparativa de los objetivos y resultados del PNIEC 2021-2030. [32]

	PNIEC 2020	PNIEC 2023
Reducción de emisiones de GEI respecto 1990	23%	32%
Reducción de emisiones de GEI respecto 2005 – Sectores ETS	- 61%	- 70%
Reducción de emisiones de GEI respecto 2005 – Sectores difusos	- 39,1%	- 43%
Porcentaje de renovables en la generación eléctrica	74%	81%
Número de vehículos eléctricos	5 millones	5,5 millones
Número de viviendas rehabilitadas	1.200.000	1.377.000
Potencia total y renovable del mix energético	Total 160GW Ren: 113GW	Total 214GW Ren: 160GW
Porcentaje renovable sobre energía final	42%	48%
Eficiencia Energética. Reducción de consumo de energía primaria	-39,5%	-42%
Eficiencia Energética Reducción de consumo de energía final	-41,7%	-44%
Dependencia energética	61%	51%

La integración de las energías renovables se encuentra en el centro de las iniciativas de la comunidad energética, impulsando la adopción e integración de fuentes de energía renovables en la combinación energética [30]. Al aprovechar la energía solar, eólica y otras tecnologías de energía sostenible, las comunidades energéticas contribuyen a reducir la dependencia de los combustibles fósiles, mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y avanzar en la transición hacia una economía baja en carbono [31].

La eficiencia energética y la reducción de emisiones son objetivos clave defendidos por las comunidades energéticas a través de la acción colectiva y la colaboración. Al promover medidas de eficiencia energética y aprovechar los recursos compartidos, las comunidades energéticas se esfuerzan por optimizar los patrones de consumo de energía, reduciendo así la demanda general de energía y la huella de carbono [32].

Los miembros de las Comunidades Energéticas participan activamente en la planificación e implementación de medidas para la adopción de energías renovables en la producción, consumo y comercialización de energía eléctrica, térmica, mecánica o combustible, así como en el desarrollo de medidas de eficiencia energética y movilidad sostenible. Utilizando recursos locales como energía eólica, solar y biomasa, además estas comunidades logran mayor autonomía y reducen la dependencia de energía externa.

Por otra parte, las Comunidades Energéticas promueven el ahorro energético y contribuyen al desarrollo de la generación distribuida, reduciendo significativamente la dependencia energética y cumpliendo con los objetivos energéticos **y medioambientales establecidos para minimizar el impacto ambiental**.

En España, la dependencia energética es un problema crítico, alcanzando casi el 70%. La reducción de emisiones y la sustitución de energías fósiles por renovables son objetivos fijados para 2030, pero aún queda un largo camino por recorrer para alcanzar estas metas. En este contexto, las Comunidades Energéticas emergen como un cambio significativo en el proceso de transición energética, no solo en España, sino a nivel global.

La alta dependencia energética de España subraya la necesidad urgente de adoptar medidas que promuevan la autosuficiencia y la sostenibilidad. Las metas establecidas para 2030 incluyen una reducción significativa de las emisiones de gases efecto invernadero, GEI y la sustitución de fuentes de energía fósil por renovables. Sin embargo, el progreso hacia estos objetivos ha sido lento, lo que resalta la importancia de iniciativas innovadoras como las Comunidades Energéticas.

Las Comunidades Energéticas juegan un papel crucial en la transición hacia un modelo energético más sostenible. Estas comunidades utilizan energías renovables y tecnologías de eficiencia energética, generando calor y electricidad sin recurrir a combustibles fósiles. Este enfoque no solo ofrece una alternativa limpia y autóctona, sino que también es cada vez más rentable y segura.

Beneficios Medioambientales y Económicos

La adopción de energías renovables en las Comunidades Energéticas contribuye significativamente a la reducción de emisiones de gases GEI, mitigando el impacto negativo del cambio climático. Además, estas comunidades promueven la eficiencia energética, lo que resulta en un uso más racional y sostenible de los recursos disponibles. La implementación de tecnologías limpias no solo beneficia al medio ambiente, sino que también impulsa el desarrollo económico local al reducir la dependencia de fuentes de energía externas.

Las Comunidades Energéticas representan una solución innovadora y efectiva para abordar los desafíos de la dependencia energética y el cambio climático en España. Su enfoque en el uso de energías renovables y la eficiencia energética ofrece una alternativa viable y sostenible que puede ser replicada a nivel global, contribuyendo así a un futuro energético más limpio y seguro.

Economía circular, sector energético y Comunidades Energéticas Locales

El sector energético es una importante fuente de emisión de gases de efecto invernadero GEI (responsable actual en Europa del 75 % de estas emisiones) y tiene por lo tanto un importante papel en el Pacto Verde Europeo.

Su contribución se basa en tres principios clave: dar prioridad a la eficiencia energética y desarrollar un sector eléctrico basado en gran medida en fuentes renovables, conseguir un suministro energético seguro y asequible y un mercado de la energía plenamente integrado, interconectado y digitalizado.

El Pacto Verde refuerza sus objetivos de neutralidad climática con otros específicos relacionados con la economía circular, como son:

- La interconexión de los sistemas energéticos.
- El incremento de las fuentes renovables en la red.
- La promoción de tecnologías innovadoras y de infraestructuras modernas.
- El impulso de la eficiencia energética.
- El diseño ecológico de los productos.
- La descarbonización del sector del gas.
- El fomento de la integración inteligente en todos los sectores.
- La promoción de normas y tecnologías energéticas de la unión europea a nivel mundial.

En este contexto, los aspectos a abordar por el sector son el empoderamiento de los consumidores, la gestión de materiales y residuos en las cadenas de valor de los suministros como las baterías, los aerogeneradores, los paneles fotovoltaicos, los edificios y otros activos; además, la revalorización de residuos y el autoconsumo energético.

La **economía circular** constituye un modelo de negocio con un enorme potencial, capaz de generar competitividad combinando innovación y sostenibilidad en este nuevo marco. En la Figura 12, se tiene en cuenta la importante relación entre la economía circular y la transición energética, resaltando la existencia de sinergias entre ambos conceptos y la convergencia en la necesidad de racionalizar al máximo el uso de los recursos y la descarbonización de la economía. En la transformación del modelo industrial lineal en uno circular son, por lo tanto, determinantes el uso eficiente de la energía, el incremento de las energías renovables y el eco-diseño de productos con un consumo mínimo de energía durante su ciclo de vida.

La estrategia integrada de economía circular en el sector energético puede resumirse en tres ámbitos de aplicación: suministro de energía, consumo de energía y ciclo de vida de las infraestructuras.

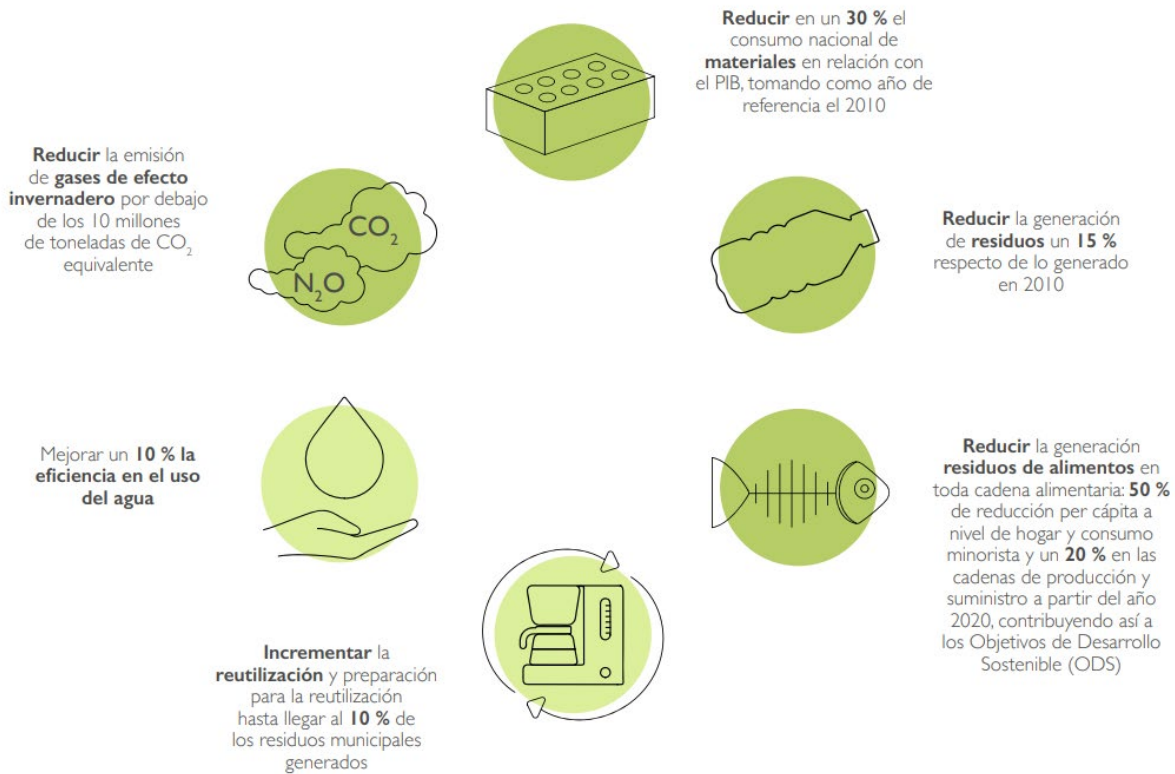


Figura 12: Objetivos de la Economía Circular en España 2030. [32]

En cuanto al ciclo de vida de producto, está vinculado con la extensión del ciclo de las infraestructuras: aprovechamiento de las centrales, redes y otros activos. La economía circular puede evitar los impactos ambientales que se derivan de la construcción, desmantelamiento y demolición de las infraestructuras, como por ejemplo, los parques eólicos en España, que dada su antigüedad, es previsible que en los próximos años aumenten los residuos de aerogeneradores debido al desmantelamiento de parques eólicos. Existe, por tanto, todo un campo de trabajo para el reciclaje basado en soluciones innovadoras.

La Estrategia Española de Economía Circular (EEEC) “España Circular 2030” es un componente crucial del Marco de Economía Circular, diseñado para impulsar la recuperación económica y transformar el modelo productivo hacia uno circular. Este enfoque promueve la reutilización, reciclaje y reparación de productos, minimizando la generación de residuos desde el diseño. La adopción de principios de economía circular promete beneficios en eficiencia de recursos, reducción de emisiones y creación de empleo. La EEEC establece objetivos ambiciosos para 2030, incluyendo la reducción del consumo de materiales y generación de residuos, y la mejora en la reutilización y eficiencia del uso del agua [32].

La electrificación es una de las principales estrategias para descarbonizar la economía y en este proceso, la economía circular puede jugar también un papel muy importante. La llamada **“energía circular”** tiene que ver con actividades que van desde revalorización energética o aprovechamiento

de excedentes energéticos en la generación o en el consumo, el uso del hidrógeno como vector de generación o almacenamiento, o la gestión de combinación de las renovables con otros sistemas de almacenamiento. Además, el uso de contadores inteligentes genera ahorros y mejoras en la eficiencia dado que generan información (precios, consumo, aspectos ambientales) e impulsa el autoconsumo energético y la creación de **comunidades de energía positiva** [33].

1.4 BARRERAS Y FACILITADORES DEL DESARROLLO DE LAS CEL

En el estudio recientemente presentado por la Dirección General de Energía de la UE, [34], se analizan a nivel europeo las barreras y facilitadores del impulso de las comunidades Energéticas. Principalmente los puntos que resumen este estudio son:

- Barreras transversales, de ámbito jurídico principalmente.
- Barreras de producción de energía renovable.
- Barreras en la energía distribuida y compartida.
- Barreras en el comercio de energía.
- Barreras en la flexibilidad de la demanda.

Queda un gran camino por avanzar en muchos países de la UE. En España, las principales barreras que encontramos son las dificultades en el acceso a la red por parte de algunas distribuidoras, junto a la falta de un parque suficiente de gestores de la demanda.

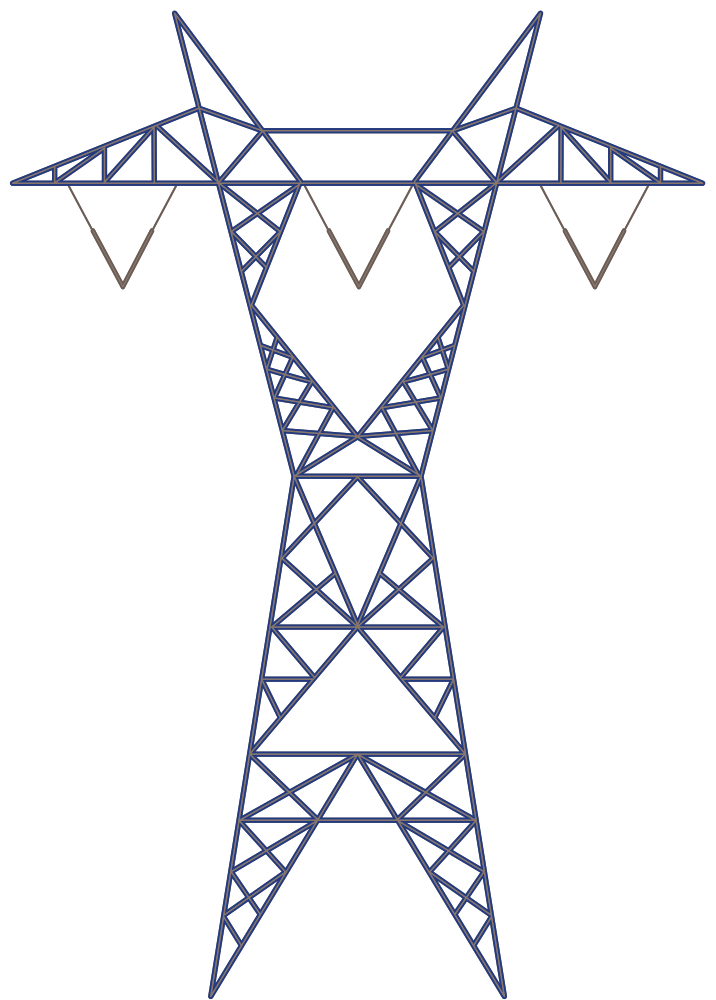
El paquete de medidas sobre energía limpia, recientemente aprobado, refuerza esta tendencia al sentar las bases de las comunidades energéticas en el marco legislativo de la UE. Las iniciativas comunitarias de energías renovables están más extendidas en los países del norte de Europa con mayores ingresos y menos desarrolladas en el sur, centro y este del continente europeo. [35] Las políticas energéticas en forma de subvenciones y ayudas económicas se consideran un factor clave que puede influir en la tasa de éxito de las comunidades energéticas. Y aunque los beneficios monetarios en forma de acciones o precios más bajos de la electricidad son un fuerte incentivo, no excluyen otros tipos de motivaciones para participar en la energía comunitaria. La preocupación por el medio ambiente, el deseo de ser independientes energéticamente y de utilizar la energía de forma más sostenible en beneficio de la comunidad representan fuertes motores de desarrollo.

Las estructuras jurídicas más comunes son las cooperativas propiedad de los ciudadanos a través de acciones, y las asociaciones sin ánimo de lucro. Los modelos de propiedad (sociedades limitadas, fundaciones y otros) pueden seguir prosperando con la aplicación de las nuevas normas de la UE a nivel nacional.

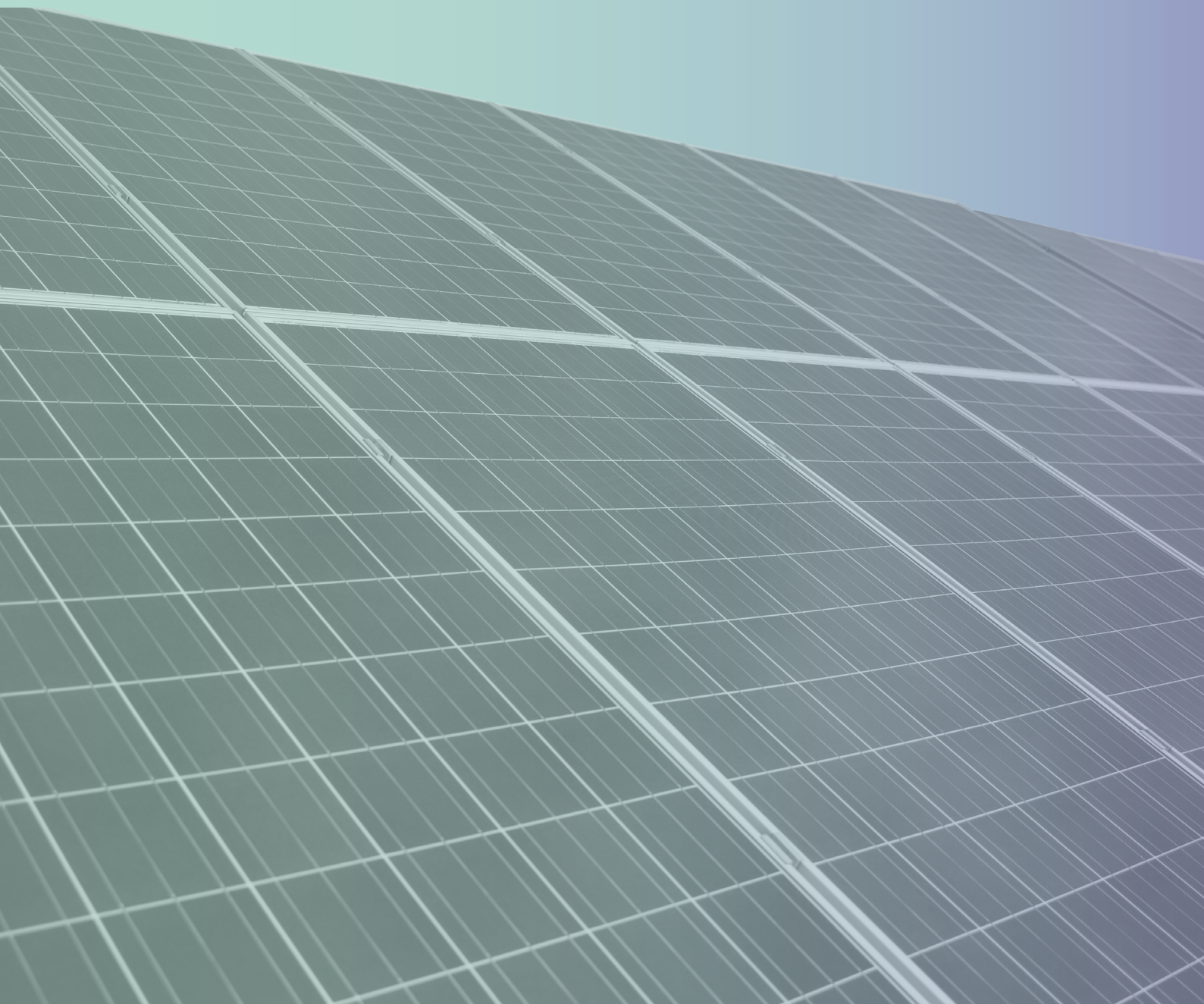
REFERENCIAS

1. Directiva (UE) 2019/944 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019, sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad y por la que se modifica la Directiva 2012/27/UE. *Diario Oficial de la Unión Europea*, L 158, 14 de junio de 2019, **125 a 199**. Recuperado de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:32019L0944&from=ES>
2. Comunicación de la Comisión Europea referente a la Estrategia de Energía solar de la UE <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:52022DC0221&from=ES>
3. PROGRAMA REPOWER EU. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_es
4. Estudio ENERGY PROSUMERS IN EUROPE <https://www.eea.europa.eu/publications/the-role-of-prosumers-of>
5. Gsänger, S., Karl, T. (2020). Community Wind Under the Auctions Model: A Critical Appraisal. In: Uyar, T. (eds) *Accelerating the Transition to a 100% Renewable Energy Era*. Lecture Notes in Energy, vol 74. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-40738-4_1
6. Toporek, M; and Campos I. (2019) <https://www.clientearth.org/media/mg2lgkn0/assessment-of-existing-eu-wide-and-member-state-specific-regulatory-and-policy-frameworks-of-res-prosumers-coll-en.pdf>
7. García, L. M. (2023). El papel de las Oficinas de Transición Comunitaria Energética en la descarbonización local. *Revista de Energía y Sostenibilidad*, 12(3), 25-38
8. La Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo de diciembre 2018 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001>
9. REesCoop, Federación europea de cooperativas energéticas (REScoop) <https://www.res-coop.eu/>
10. Ministerio de Derechos Sociales y Agenda 2030. (2023). Informe de progreso 2023 de la Estrategia de Desarrollo Sostenible 2030 en España. <https://www.mdsocialesa2030.gob.es/estrategia-2030/informe-progreso-2023.pdf>
11. Directiva del Mercado Interior de la Electricidad (EU) 2019/944. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:4404055#:~:text=Directiva%20%28UE%29%202019%2F944%20del%20Parlamento%20Europeo%20y%20del,refundida%29%20%28DO%20L%20158%20de%2014.6.2019%2C%20pp.%20125-199%29>
12. Directiva de Energía Renovable 2018/2001 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32018L2001>
13. Bosco Valero, R., Alcantarilla, C., Marcuello, C., & Díaz Foncea, M. (2023). Impacto social de las comunidades energéticas. *ECODES*
14. European Union Agency for the Cooperation of Energy Regulators. (2024). Current edition. ACER. <https://extranet.acer.europa.eu/en/Electricity/Market%20monitoring/Pages/Current-edition.aspx>
15. Yildiz et al., 2015. Energy cooperatives as a form of workplace democracy? A theoretical assessment. <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/156056/1/vol16-no03-a3.pdf>
16. IDAE, <https://www.idae.es/ayudas-y-financiacion/comunidades-energeticas>
17. Joint Research Centre UE (JRC) (2020) basado en (Roberts, Bodman, and Rybski, 2014; Hanna, 2017; REN21, 2016) <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/reel.12346> https://www.foeeurope.org/sites/default/files/publications/community_power_model_legal_frameworks_june2014.pdf
18. International Energy Agency (IEA). (2023). Users TCP: Program of Energy Technology Collaboration. <https://www.iea.org/reports/users-tcp>

19. Comisión Europea. (2023). BRIDGE project: Fostering energy communities across Europe. <https://ec.europa.eu/energy/bridge-communities-2023>
20. Smith, J., & Müller, R. (2022). Promoviendo la participación comunitaria en energías renovables: El impacto del proyecto COM RES. *Revista Europea de Energía Sostenible*, 14(1), 35-50.
21. IRENA. <https://www.irena.org/>
22. Naciones Unidas. (2023). Informe final de la Cumbre sobre los ODS 2023: Impulsando la Agenda 2030. <https://www.un.org/es/2023/ods-cumbre-final-report>
23. Reis I. et al; Business models for energy communities: A review of key issues and trends – ScienceDirect. (2021) <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032121003038>
24. COMPILE Project. (n.d.). Main page. COMPILE Project. <https://main.compile-project.eu/>
25. Pérez-Llorca. (2022, diciembre 29). Análisis de las medidas energéticas contenidas en el Real Decreto-ley 20/2022. Pérez-Llorca. <https://www.perezllorca.com/actualidad/notas-juridicas/analisis-de-las-medidas-energeticas-contenidas-en-el-real-decreto-ley-20-2022>
26. Martínez, L. (2023). Descubrimiento del toolkit COMPILE: Análisis del impacto en las cooperativas de energía renovable (Tesis doctoral, Universidad de Barcelona). Recuperado de <https://www.ub.edu/tesis-doctoral/com/compile-toolkit>
27. Stimuleringsfonds Volkshuisvesting Nederlandse gemeenten (SVn). (n.d.). Realisatiefonds. SVn. <https://www.svn.nl/verenigingen-stichtingen-en-cooperaties/op-zoek-naar-een-lening/realisatiefonds/>
28. Hall et al., 2020; Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών, 2020; mp energy, 2021; Protergia, 2021 <https://helapco.gr/greece-energy-news/statistika-ellinikis-agoras-2020-2/>
29. United Nations Development Programme (UNDP). (2020). The Sustainable Development Goals (SDGs) are a global call to action to end poverty, protect the planet and ensure that all people enjoy peace and prosperity by 2030. UNDP. <https://www.undp.org/sustainable-development-goals>
30. Stroink, A.; Diestelmeier, L.; Hurink, J.L.; Wawer, T. Benefits of cross-border citizen energy communities at distribution system level. *Energy Strateg. Rev.* **2022**, *40*, 100821. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100821>
31. Gago-Calderón, I., et al. Implementing European Union Provisions and Enabling Frameworks for Renewable Energy Communities in Nine Countries: Progress, Delays, and 1 Gaps. *Sustainability (Switzerland)* **2023**, *15*(11), 8850. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91135-1.00022-5>
32. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (n.d.). Estrategia Española de Economía Circular. Gobierno de España. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/estrategia.html>
33. Hopetowns.earth. (n.d.). Comunidades energéticas y distritos de energía positiva. Recuperado de <https://hopetowns.earth/energia/comunidades-energeticas-y-distritos-de-energia-positiva/>
34. Energy Communities Repository (2024) https://energy-communities-repository.ec.europa.eu/report-barriers-and-action-drivers-development-energy-communities-their-activities_en
35. Caramizaru A.; Uihlein A. (2020). Joint Research Centre (JRC) Comunidades energéticas: una visión general de la energía y la innovación social <https://ec.europa.eu/jrc>
- 36 https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_es



2. LAS CEL EN EUROPA, EE.UU. Y AUSTRALIA



2. LAS CEL EN EUROPA, EE.UU. Y AUSTRALIA

Las CEL han sido ampliamente desarrolladas en algunos países desde hace años, especialmente en países del norte de Europa. Su desarrollo ha venido dado por el contexto sociocultural y económico, la política energética, y factores específicos.

Las políticas energéticas han sido y son un factor decisivo para el impulso de las “comunidades energéticas”. La puesta en marcha de “tarifas de alimentación” (feed-in-tariff-FiT), incentivos fiscales o ayudas son elementos muy importantes para impulsar la figura del “prosumer”, y los esquemas de propiedad comunitaria. En los 1990s, los sistemas de FiTs, fueron parte de las políticas de impulso de las energías renovables en Alemania, Dinamarca o Reino Unido.

Son muchas las situaciones previas de cada Estado Miembro de la UE en la consecución de las CEL en Europa. Las diferentes estructuras societarias, las relaciones con las empresas energéticas, la regulación y su complejidad, junto a la diferente velocidad de trasposición de las Directivas hacen que la situación del desarrollo de las CEL sea totalmente heterogéneo. En este sentido, desde RES COOP han desarrollado diferentes rastreadores de trasposición de las Directivas, como se puede ver en las Figuras 13 y 14 del Rastreador de la trasposición de las Definiciones de CEL de ciudadanos como de Renovables, de sus Marcos jurídicos habilitadores y sistemas de apoyo [\(1\)](#).

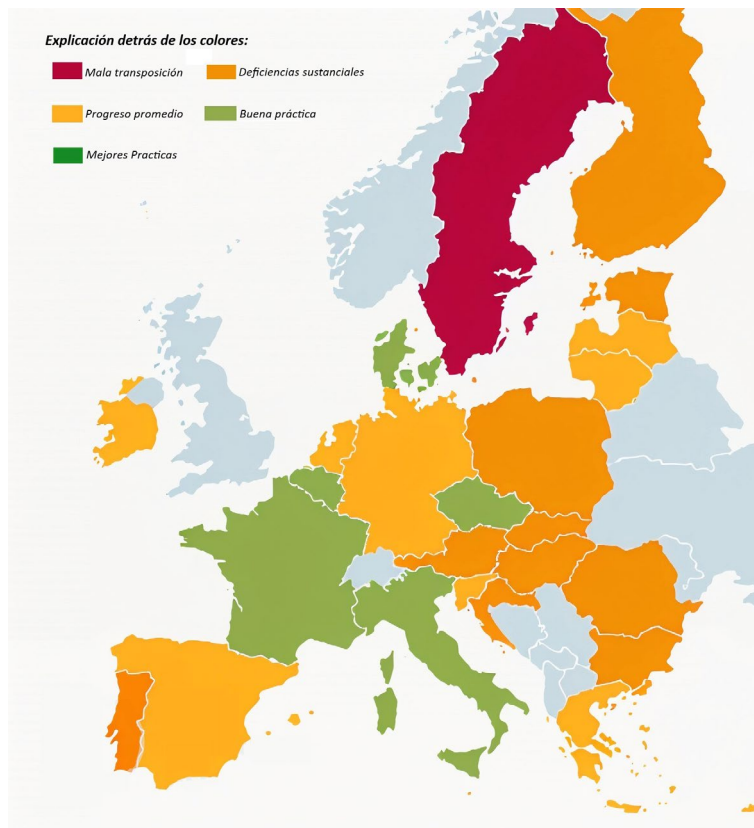


Figura 13: Rastreador de la trasposición de las definiciones de CER y CCE. [36]

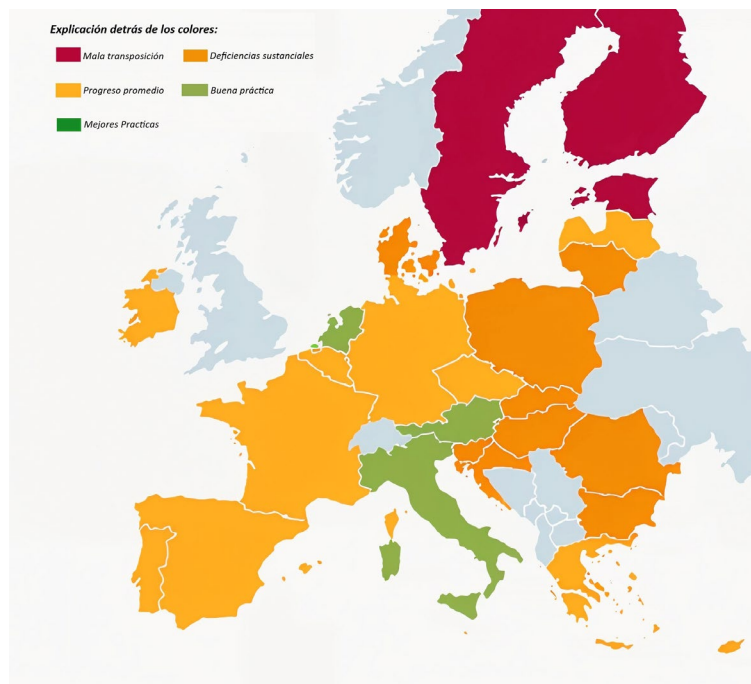


Figura 14: Marcos habilitadores y esquemas de apoyo. [36]

Otras iniciativas han comenzado a realizar otros MAPAS de creación de Comunidades Energéticas. En la Universidad de Groningen el investigador Jamie Behrendt ha diseñado dentro de su trabajo una iniciativa que tratará de poder hacer un seguimiento de la creación de las micro-redes en Europa y su funcionamiento [2]. Su investigación tratará analizar como deben regularse las micro-redes en la UE de forma que se minimicen los costes de transacción y se maximice la seguridad jurídica para contribuir de forma eficaz y eficiente a la transición energética. Este aspecto fundamental en la futura tendencia energética europea.

La Comisión Europea viene realizando una gran labor de difusión de la creación de las Comunidades Energéticas y son muchas las herramientas que difunde para su creación. En el mundo Rural son sin duda las CEL estructuras lógicas de funcionamiento que pueden colaborar en una menor dependencia energética externa, desarrollo y consumo de energías renovables. Podemos ver en la siguiente información de la Figura 15 algunas de las guías con los que se trabaja [3]:

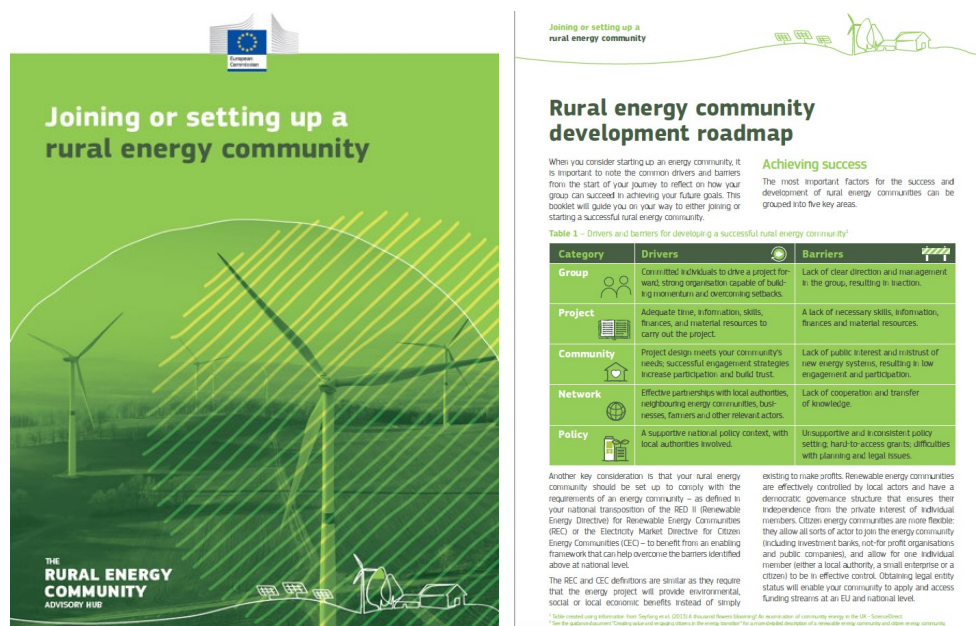


Figura 15: Guía de las Comunidades Rurales publicada por la Comisión Europea. [3]

Inclusión y Vulnerabilidad

Diferentes estudios [4] concluyen que existe un desequilibrio producido en el cumplimiento de los objetivos de género y vulnerabilidad. Indican que ciertos programas públicos están favoreciendo exclusivamente a las rentas medias y altas al ser las únicas que pueden acceder a las inversiones o financiaciones. En particular, las juntas de los diferentes proyectos pueden potencialmente incluso aumentar las brechas de desigualdad social existente. Por todo ello proponen mecanismos que, a través de subsidios energéticos, den acceso al crédito con bajos o nulos intereses en los préstamos vinculados a ser miembro, y avanzar en la formación para su acceso universal.

Reescoop. Federación de Cooperativas Europeas

REScoop.eu, figura 16, se fundó en 2013 como una asociación belga sin ánimo de lucro. Actualmente es la Federación sectorial Europea de Cooperativas de energía. La componen 1.900 miembros de 13 Estados de la UE. Y representan a más de 1,2 millones de Ciudadanos de los 27 Estados Miembros. Alemania, con 1.750 Comunidades, seguida de Dinamarca con 720 y Países Bajos 500. Todos sus miembros, están comprometidos con los principios de la Internacional Cooperative Alliance (AIC). Sus funciones consisten en proporcionar representación a nivel de la UE y apoyo a los miembros de la asociación en el desarrollo de actividades y participación en proyectos de la UE.

Desde REScoop [5] lanzan recomendaciones para desarrollar su modelo jurídico, la I + D, y apoyar la implementación de comunidades energéticas: 1) Reconocer a las comunidades energéticas como actores del mercado no comerciales, apoyándose en conceptos sociales basados en características de gobernanza, no en tecnología, y diferenciándose claramente de otras actividades que realizan otros actores del mercado comercial. 2) Eliminar las barreras que impiden que las comunidades energéticas colaboren con otros actores del mercado. 3) Promover enfoques de ciencias sociales / innovación en I + D. 4) Brindar apoyo específico del sector dedicado a las comunidades energéticas. 5) Promover la inclusión (participación basada en el género, hogares de bajos ingresos, etc. En su página web cuelgan todos los proyectos que desarrollan como REScoop, entre otros: ACCE, SCCALE 203050, LIFE Coop, REScoop VPP, entre otros.

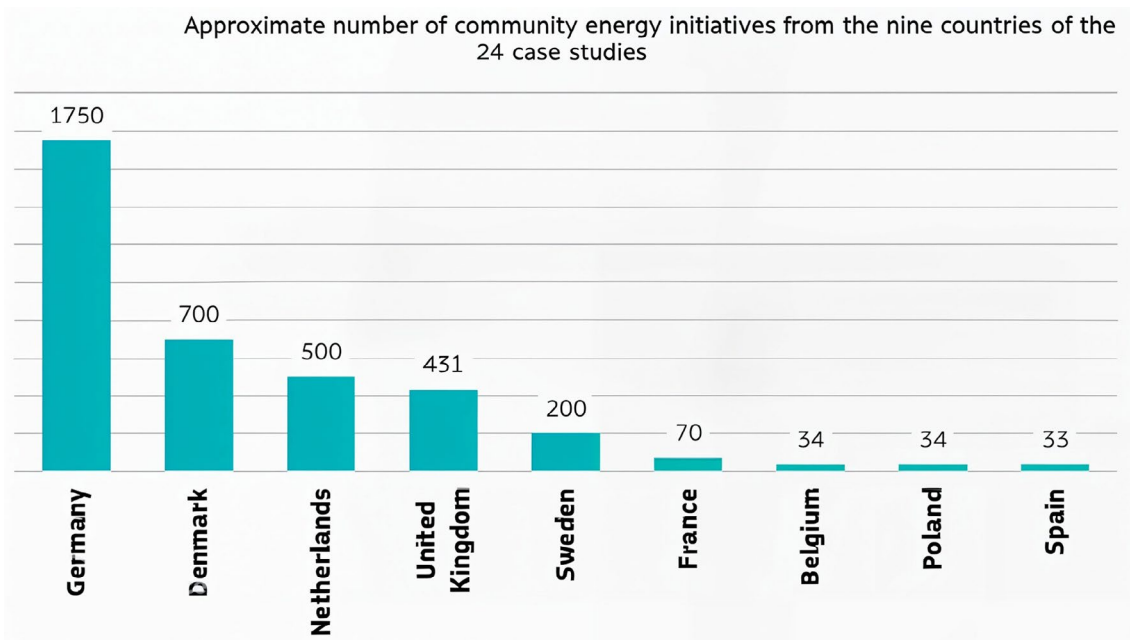


Figura 16: Una visión general de la energía y la innovación social. [36]

2.1 SITUACIÓN DE LAS CEL EN ESPAÑA

Normativa europea, en el caso de España

El reglamento de gobernanza (Clean Energy Package) requiere a los estados miembros elaborar un Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC), que cubra el periodo de 2021 a 2030 y una Estrategia a largo plazo, para una economía neutra en emisiones en 2050.

El concepto de CEL, "comunidad energética local" está siendo propuesto por el Ministerio de Transición Ecológica. El marco español copia los derechos, privilegios y responsabilidades de las directivas de la UE para las comunidades de energía renovable y ciudadana.

El Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030 [6] define los objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, de penetración de energías renovables y de eficiencia energética. Determina las líneas de actuación y la senda que, según los modelos utilizados, es la más adecuada y eficiente, maximizando las oportunidades y beneficios para la economía, el empleo, la salud y el medio ambiente; minimizando los costes y respetando las necesidades de adecuación a los sectores más intensivos en CO₂.

En España en los dos últimos años se han introducido diferentes cambios normativos en torno a cuestiones como la nueva normativa de autoconsumo, de acceso y conexión, nuevo marco de subastas, nuevo reglamento de instalaciones térmicas en edificios, o la propuesta de creación del Fondo Nacional para la Sostenibilidad del Sistema Eléctrico, entre otros.

A estos se suma el **Marco Estratégico de Energía y Clima**, el cual sienta las bases y establece la senda para avanzar hacia la descarbonización en España.

Los principales elementos del Marco Estratégico de Energía y Clima son:

- a) Ley de Cambio climático y transición energética.
- b) Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030.
- c) Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo 2050.
- d) Estrategia Contra la Pobreza Energética.
- e) Estrategia de Transición Justa.

Estos serán reforzados por toda una serie de estrategias y hojas de ruta sectoriales (como la Estrategia de almacenamiento, la Estrategia de autoconsumo y la Hoja de ruta del hidrógeno renovable). El Marco Estratégico de Energía y Clima y muy especialmente el PNIEC 2021-2030, han sido esenciales a la hora de diseñar el contenido energético del **Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia**, instrumento también dirigido hacia la descarbonización.

En España existe la regulación fotovoltaica a través del RD 244/2019:

1. **Autoconsumo sin excedentes:** no vierte a red.
2. **Autoconsumo con excedentes:** vierte los excedentes a red, y se pueden dar dos casos:
 - **Autoconsumo con excedentes acogida a compensación:** compensación con la comercializadora. La fuente de energía tiene que ser renovable y no debe ser mayor de 100 kW.
 - **Autoconsumo con excedentes no acogida a compensación:** los excedentes se venden al mercado eléctrico.

El **Real Decreto 244/2019** completa el **Real Decreto Ley 15/2018** extendiendo el autoconsumo a un grupo de personas más allá de los propietarios únicos. Una instalación de autoconsumo ahora puede estar ubicada en más de una vivienda y los excedentes de energía pueden compartirse con consumidores cercanos ubicados en otros edificios o alimentarse a la red eléctrica.

El autoconsumo forma parte del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2023 (PNIEC), que propone medidas para facilitar las comunidades energéticas locales y los nuevos actores en la transición energética.

Estas son:

- Medida 1.13. Comunidades energéticas locales –marco normativo.
- Medida 1.6. Marco para desarrollo de energías renovables térmicas–promoción redes eléctricas.
- Medida 1.2. Gestión de la demanda, almacenamiento y flexibilidad.
- Medida 1.4. Desarrollo del autoconsumo con renovables y la generación distribuida.
- Medida 1.14. Promoción del papel proactivo de la ciudadanía en la descarbonización.
- Medida 1.19. Generación de conocimiento, divulgación y sensibilización.
- Medida 2.15. Comunicación e información en materia de eficiencia energética.
- Medida 5.8. Innovación social por el clima.

El autoconsumo Colectivo se permite tras la aprobación del RD 900/2018. Los consumidores asociados deben estar conectados al mismo centro de transformación y la distribución de energía debe ser en BT (Baja Tensión). Debe existir una distancia máxima de 2000 metros entre la planta fotovoltaica y cada uno de los consumidores asociados.

En el informe elaborado por la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia [\(7\)](#) CNMC, Tabla 12, se anuncia un gran crecimiento de los puntos de autoconsumo en los próximos años. Según sus datos se podría crecer un 119% en 2023, aumentando los puntos de suministro de los 119.394 hasta

los 261.518. También calcula los periodos 2024 y 2025, donde se espera que los puntos de suministros crezcan un 93,9% y luego **un 86.9%**, alcanzando **primero los 507.071, y en casi dos años los 947.581.**

Tabla 8: Informe Comisión Nacional del Mercados y la Competencia. [7]

Peajes	2024				2025			
	Nº suministros (1)	Potencia facturada por la energía suministrada de la red (kW) (2)	Energía consumida de la red (MWh)	Energía vertida (MWh)	Nº suministros (1)	Potencia facturada por la energía suministrada de la red (kW) (2)	Energía consumida de la red (MWh)	Energía vertida (MWh)
Baja Tensión	498.719	339.613	2.939.219	960.621	935.467	6.134.544	4.980.709	1.682.812
2.0 TD	478.691	2.163.246	1.401.293	821.367	901.076	3.963.149	2.566.400	1.474.962
3.0 TD	20.020	1.176.367	1.537.216	139.144	34.382	2.171.394	2.413.599	207.741
3.0 TDVE	8	-	710	110	8	-	710	110
Alta Tensión	8.352	4.133.570	9.895.760	6.561.943	12.114	5.885.283	13.819.792	8.657.726
6.1 TD	8.088	2.416.964	6.058.897	3.819.798	11.773	3.613.492	8.619.559	5.332.715
6.1 TDVE	-	-	-	-	-	-	-	-
6.2 TD	191	866.527	1.729.183	1.933.276	234	1.120.281	2.301.768	2.143.666
6.3 TD	50	286.288	1.031.488	383.212	71	319.385	1.349.914	553.099
6.4 TD	23	563.791	1.049.193	425.657	37	832.124	1.548.550	628.246
Total	507.071	7.473.183	12.834.979	7.522.564	947.581	12.019.827	18.800.501	10.340.539

Fuente: Informe CNMC

El informe anuncia un aumento importante en la energía autoconsumida, que podría pasar de los 2.882.873 MWh actuales a 6.124.026 MWh. Es decir, un crecimiento del 112,4%. El autoconsumo representará el 6,5% del total de la demanda nacional en consumo en 2025.

El Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía (IDAE) toma un papel importante para el impulso de las Comunidades Energéticas Locales, CEL mediante la elaboración de una guía con los pasos a seguir para su constitución y la posibilidad de financiar proyectos piloto.

La guía **“Desarrollo de instrumentos de fomento de comunidades energéticas locales”** incluye buenas prácticas de países de nuestro entorno y que clarifica qué se entiende por una Comunidad Local de Energía y la manera de constituirla, así como la forma de financiar proyectos piloto a través de las líneas de apoyo del IDAE que den visibilidad social a la creación de estas comunidades.

Según la **Unión Española Fotovoltaica (UNEF)** y estudios [8], el autoconsumo compartido ha de ser «una parte importante del desarrollo fotovoltaico necesario para cumplir los objetivos del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC)». Asimismo, expresa que el autoconsumo también es una vía para reducir los costes de suministro eléctrico para los ciudadanos, las pymes y el sector industrial. En este marco, UNEF ha indicado que el Real Decreto de actividad de recarga energética de vehículos eléctricos, incorporaron una disposición que levantaba la moratoria de permisos

de acceso y conexión al autoconsumo. Los datos de la UNEF ratifican las estimaciones de la CNMV, cifras impensables años atrás.

En cuanto al reparto por sectores, la mayoría de esta nueva potencia, un 56%, se ha instalado en el sector industrial, un 23% en el sector comercial y un 19% en el sector doméstico, que es donde el autoconsumo ha experimentado un crecimiento sin precedentes.

Convocatoria del CE IMPLEMENTA por el IDAE

La Comisión Europea ha desarrollado un Mecanismo de Recuperación y Resiliencia para la reconstrucción de las economías europea después de la pandemia del COVID-19. El nuevo Fondo de Recuperación Next Generation-EU está permitiendo a España movilizar un importante plan de inversión. Entre sus objetivos apuesta por la descarbonización, alineado con el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030.

El PNIEC presenta entre sus objetivos el fomento del autoconsumo y la generación distribuida la gestión de la demanda, el almacenamiento y la flexibilidad, el fomento de las comunidades energéticas locales, y la incorporación de energías renovables en el sector industrial.

El PRTR presenta las comunidades energéticas como un importante actor, y presenta la definición de comunidad de energías renovables contemplada en la letra j) del apartado 1 del artículo 6 de la Ley 24/2013, y da cabida al concepto de comunidad ciudadana de energía en nuestra legislación.

El CE IMPLEMENTA apoyará a aquellas entidades jurídicas que cumplan con los objetivos de las Directivas y serán considerados como proyectos PILOTO SINGULARES. Del mismo modo desarrollará en varias fases su apoyo a través de las Oficinas de Transformación Comunitaria, que apoyarán la difusión de estas figuras.

El IDAE ha habilitado un mapa interactivo, Figura 17, donde se pueden ver los 73 proyectos-piloto aprobados en las dos primeras convocatorias [9].

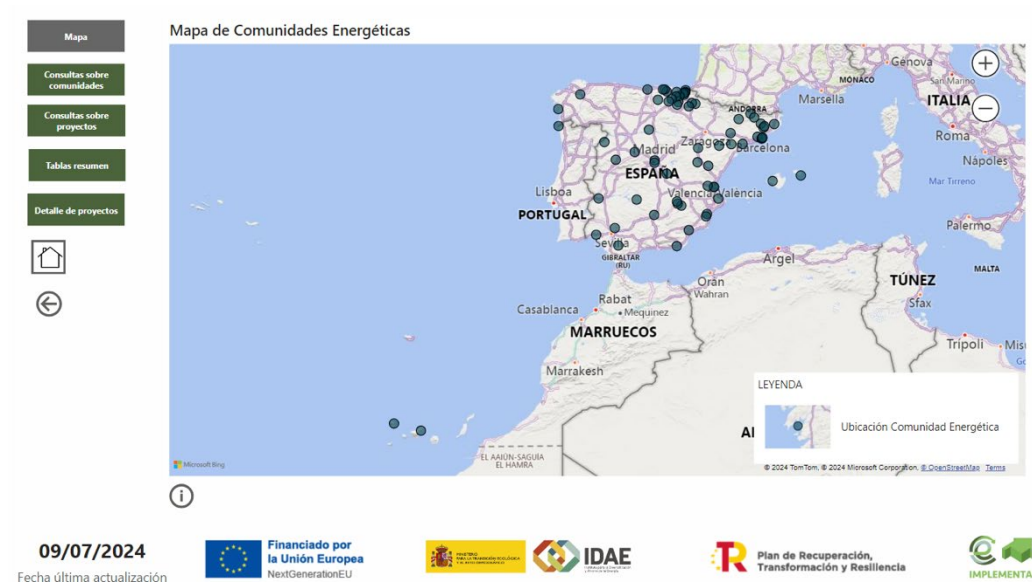


Figura 17: Mapa de las CEL en España. [9]

Una de las regiones que más está apostando por el desarrollo de las CEL es la Comunidad Valenciana. De los 33 proyectos de CEL registrados en España por el IDAE en diferentes fases de desarrollo, ocho se desarrollan en la Comunidad Valenciana.

La Generalitat Valenciana ha puesto en marcha el '*Plan Estratégico de Comunidades Energéticas 2030*'. El Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial (IVACE), por su parte, ha articulado una línea de ayudas para comunidades energéticas, dotada con 550.000 euros el pasado año, de los que algo más de 300.000 euros se utilizaron para respaldar siete proyectos de autoconsumo compartido presentados por CEL, con cobertura de hasta el 65% del coste de la instalación fotovoltaica a fondo perdido. Este año, la cuantía de las ayudas será de dos millones de euros, con los que se podrían respaldar unos 30 proyectos de 50 kW de potencia media cada uno. Cuatro de los siete proyectos subvencionados están promovidos por Sapiens Energía, una cooperativa sin ánimo de lucro especializada en la creación y gestión de comunidades energéticas. **Ecooo** apuesta por impulso de oficinas municipales para fomentar las comunidades energéticas locales en España. La cooperativa energética sin ánimo de lucro **Ecooo** [10] diseña el servicio de acompañamiento, asesoría y desarrollo de **Oficinas Energéticas municipales**, para apoyar a los diferentes ayuntamientos del país en el impulso de Comunidades Energéticas, con el objetivo de promover un modelo de generación y consumo energético sostenible, abierto a la participación ciudadana y local.

ENERCOOP. La Cooperativa Eléctrica de Crevillent, constituyó el Grupo Enercoop [11]. Por lo tanto, su cultura de gestión de la energía tiene casi un siglo de historia. Su objetivo es llevar la energía a todos los hogares de la localidad de una forma justa y respetando el medio ambiente. Hoy en día por su experiencia tiene un gran prestigio nacional e internacional. En las siguientes figuras, de la 18 a la 20, se muestran sus principales características.

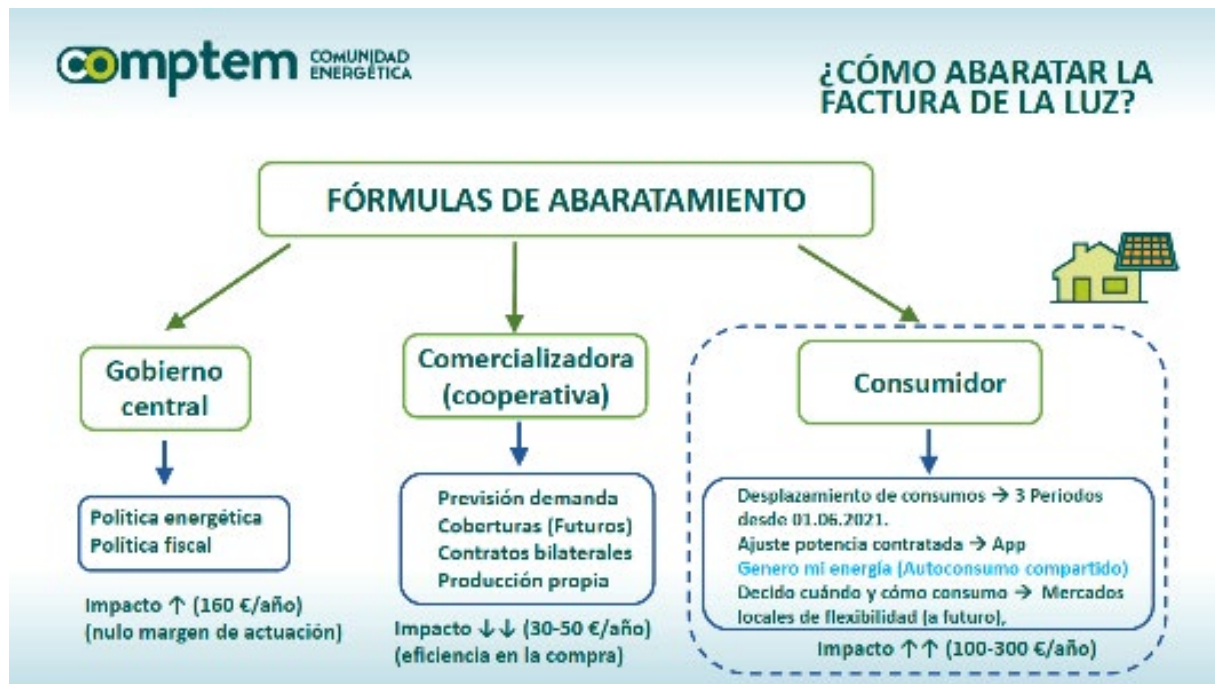


Figura 18: Fórmulas de abaratamiento de la factura de la luz. [11]



Figura 19: Modelo Blockchain. [11]



Figura 20: Ejemplos de dispositivos de producción de energía autónoma. [11]

Otros ejemplos desarrollados en España son la comunidad energética impulsada por el Ayuntamiento de Urroz, Garés, ambas en **Navarra** o La Comunidad Energética Local de Lasierra, en Álava son ejemplos pioneros en este campo. Estos proyectos han sido fomentados por la **cooperativa navarra de consumo eléctrico EMASP**. Más adelante desarrollaremos el proyecto TODA ENERGÍA, modelo creado en Navarra y que se amplía como caso de estudio en esta tesis doctoral.

2.2 COMUNIDADES ENERGÉTICAS EN ALEMANIA

En Alemania, desde hace décadas los ciudadanos han jugado un papel muy importante en la transición energética, a través de diferentes modelos de propiedad de instalaciones energéticas (principalmente fotovoltaica y eólica). Las formas de propiedad más comunes son las cooperativas energéticas y la fórmula híbrida “GmbH & Co.KG (limited liability company & limited partnership). Pese a su papel pionero, Alemania va a la zaga de otros países en términos de transposición de las disposiciones pertinentes para las Comunidades Energéticas Renovables [12]. En general existen muchas trabas administrativas y desde el gobierno federal no se ofrece base regulatoria, ni ha desarrollado un análisis de costo-beneficio para garantizar una contribución de las CEL al coste general. Por todo ello, es importante crear mecanismos que garanticen la cooperación. de las distribuidoras, comercializadoras y las CEL, y facilitar su acceso a la red eléctrica y las transferencias de energía de los socios.

No obstante, a principios del año 2022 el Gobierno alemán se comprometió a aumentar la participación de las Energías renovables llegando al 80% del mix eléctrico del país para 2030, actualmente está cerca del 50%. Para ello quiere fomentar las CEL como un elemento importante para aumentar la aceptación local y mejorar las condiciones marco en el ámbito de la legislación europea. Para ello quiere facilitar el intercambio de energía y examinar la posibilidad de establecer un fondo de apoyo a las CEL. En el llamado “Paquete de Pascua” se ha incorporado propuestas legislativas en este sentido, sin embargo, falta el desarrollo de una normativa sobre el autoconsumo colectivo, aunque su gran desafío es reestructurar su complejo sistema eléctrico de recargos, tarifas e impuestos.

En el año 2000 se introdujo la Ley de Energía Renovable (EEG), la principal herramienta legislativa de Alemania para el desarrollo de la energía renovable, garantizando a todos los productores de energía renovable un precio fijo por encima del mercado durante 20 años. Para nuevas instalaciones más grandes, la reforma del EEG (en 2016) sustituyó este sistema con subastas, donde los operadores pujan por una participación en la capacidad renovable planificada y son las con las ofertas más bajas por kWh aceptadas las que son garantizadas durante los próximos 20 años de la misma forma que con las tarifas de alimentación (25 años en el caso de la energía eólica marina).

Recientemente la participación de ciudadanos en la producción renovable en Alemania ha descendido. Del 46% en 2012, el 42% en 2016, el 42% de la energía renovable generada en Alemania era propiedad de individuos privados (propiedad individual y comunitaria “granjas”).

En 2019, suponía el 40% de la capacidad instalada en energías renovables, figura 21. Este porcentaje llegó hace diez años al 50%. El espacio de los ciudadanos lo han ocupado las grandes compañías, la banca, fondos de inversión o distribuidores de energía, que ahora son más favorables a la producción energética de manera sostenible.

En Alemania el número de CEL aumenta cada año. Existen varios conceptos de producción conjunta de electricidad o consumo compartido de electricidad bajo los nombres de empresa energética ciudadana, cooperativa energética, electricidad regional, electricidad comunitaria, electricidad de distrito y de barrio.

La **cooperativa energética** es la figura jurídica más frecuente a través de la cual los ciudadanos participan en el sector energético en Alemania (más de la mitad de los proyectos o de las “comunidades energéticas” en 2016). Estas incluyen, además de cooperativas que generan energía a partir de plantas de energía solar y eólica, redes locales de calefacción, y “pueblos de bioenergía” (bio-energy villages). Su tamaño varía entre 3 y más de 3.000 miembros.

Share of different owner types of installed renewable energy capacity in Germany (2019).

Source: AEE, trend:research, 2021

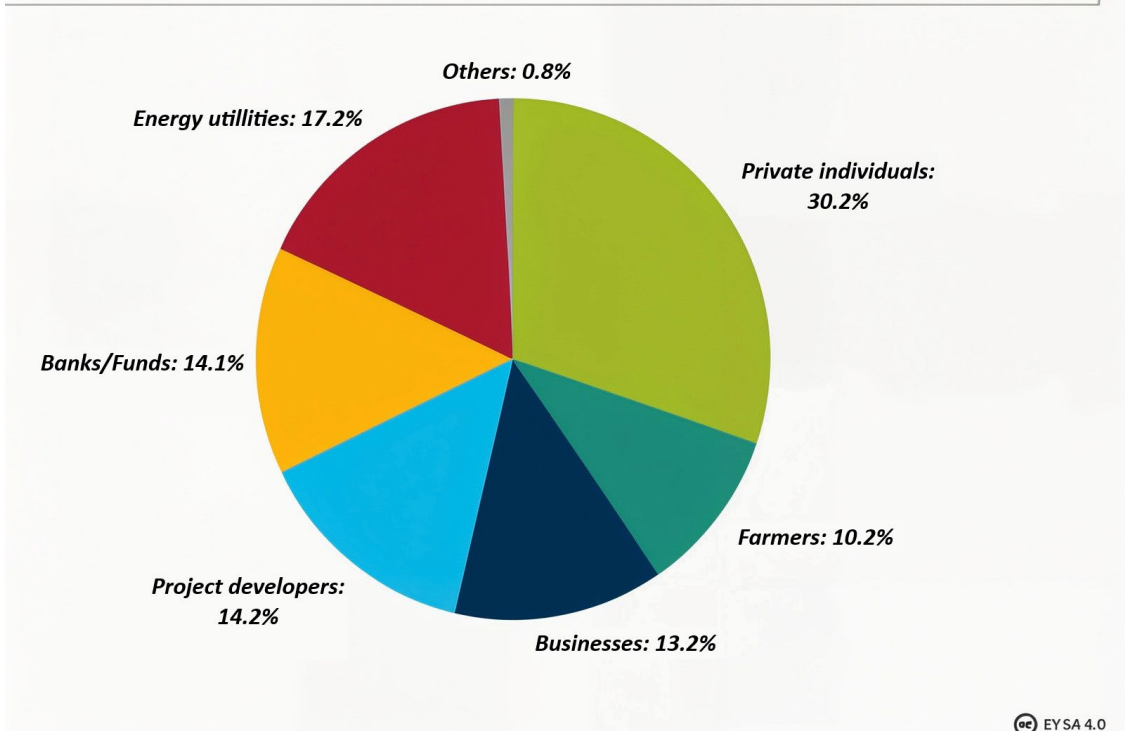


Figura 21: Proporción de los diferentes tipos de propietarios de instalaciones de energía renovable en Alemania (2019). [16]

Alemania tiene una larga tradición de cooperativas de energía y servicios públicos municipales. En 2016, en Alemania funcionaban 1700 Comunidades Energéticas, donde las cooperativas representaban algo el 52%. Las cooperativas de distribución de electricidad ayudaron a la electrificación de las zonas rurales a principios del siglo pasado [13]. En 2021, las cooperativas de energía creadas desde 2006 llegaron a cerca de 900, con cerca de 200.000 miembros y movilizando inversiones en energías renovables por valor de más de 3,2 millones de Euros [14].

Más del 90% de los miembros de las cooperativas son ciudadanos y el resto empresas, municipios o “farmers”. El número de nuevas iniciativas llegó a un máximo en 2011, momento a partir del cual descendió a partir de 2013. En 2016 se constituyeron 27 nuevas cooperativas frente a las 199 en 2011. Este cambio de tendencia puede deberse a un incremento de las instalaciones de energía eólica, desarrolladas bajo la fórmula “GmbH & Co.KG (limited liability company & limited partnership), frente al descenso notable de instalaciones de energía fotovoltaica.

Las políticas energéticas de Alemania de las últimas décadas le han puesto en una situación de gran vulnerabilidad por su gran dependencia del gas ruso, y en estos momentos su gran apuesta es invertir en regasificadoras flotantes en lugar de las conexiones a través de la conexión por tubo con Rusia, los Nort Stream 1 y 2.

Hoy desde el Gobierno Federal de Alemania se está intentando acelerar la transición energética utilizando las energías renovables, e intentando disminuir su alta dependencia del gas ruso. La Ley de Fuentes de Energía Renovable (EEG 2023), fomenta los proyectos y ayudas para este objetivo. Para poder conseguirlo están fomentando el concepto de uso compartido de la energía.

En el estudio [15] Energy Sharing: Eine Potenzialanalyse del Institute for Ecological Economy Research, IOW, se afirma que alrededor del 90 por ciento de todos los hogares en Alemania podrían ser miembros de comunidades energéticas, beneficiarse de precios más bajos, producir e intercambiar energía con una distancia máxima de 25 Kilómetros. Todo esto se podría llevar a cabo con un gran volumen de inversión, dado que hoy no se pueden ofrecer a la generalidad de los usuarios las posibilidades tecnológicas que desarrollen las mismas. Se advierte de que el marco regulatorio debe crearse lo antes posible para que las comunidades de energías renovables puedan formarse y funcionar económicamente. Como se puede observar en la figura 22, el número de nuevas Cooperativas de Comunidad Energética está bajando drásticamente en Alemania desde hace una década.

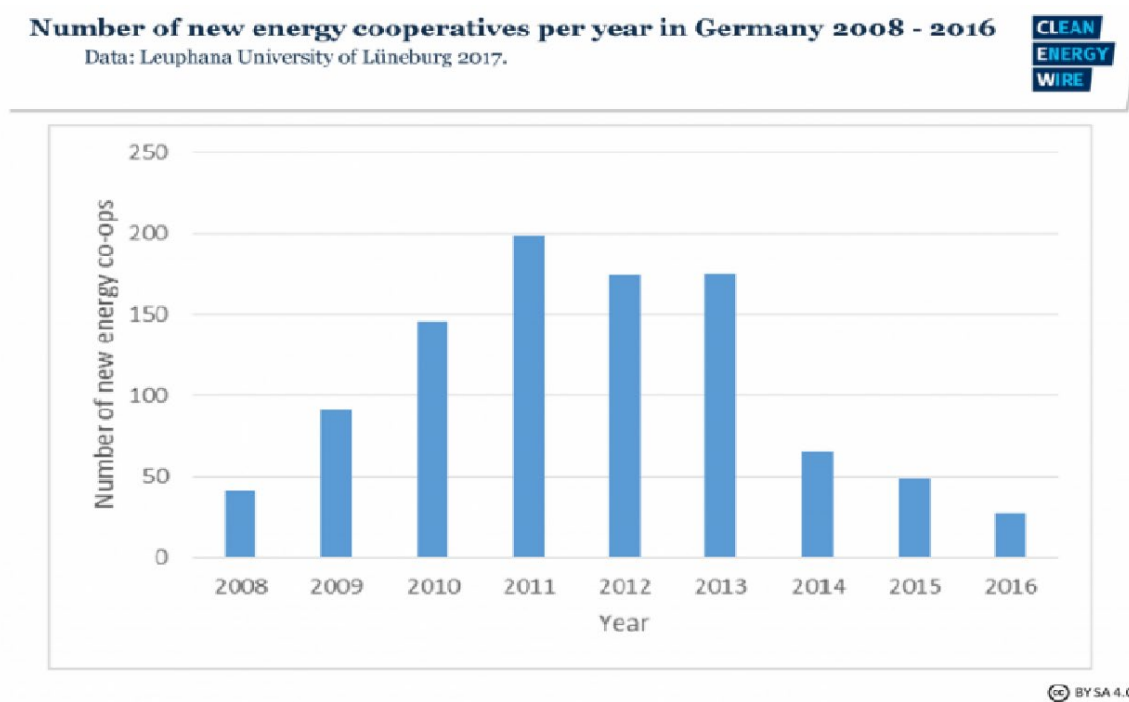
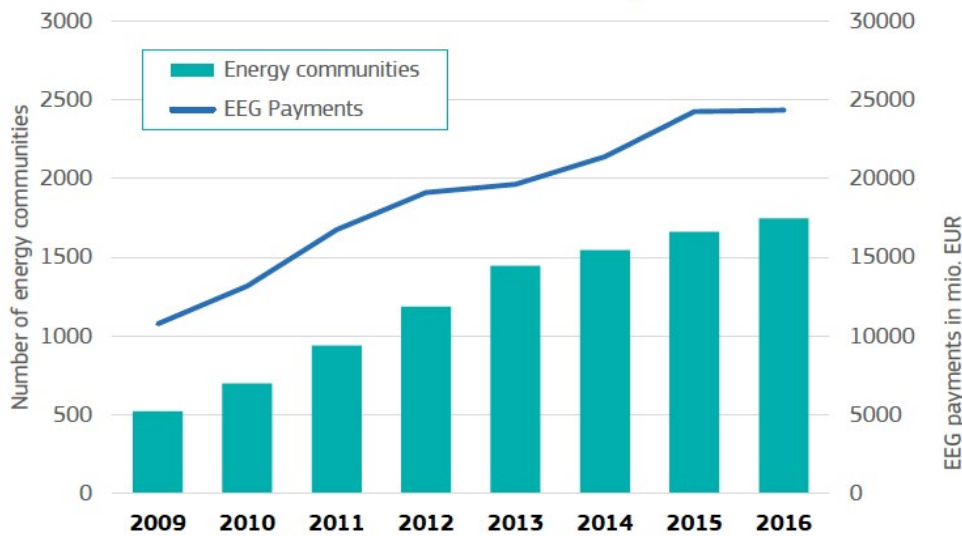


Figura 22: Número de nuevas cooperativas de energía por año en Alemania 2008-2016. [16]

Sin embargo, en la siguiente Figura 23 podemos ver que su importancia en el sector de las energías renovables sube exponencialmente en la referencia de pagos [17].

Figure 3 Growth of payments under the German Renewable Energy Sources Act (EEG) and citizen-led initiatives in Germany



Source: JRC based on (Kahla et al., 2007)

Figura 23: Crecimiento de los pagos en virtud de la Ley de fuentes de energía renovable de Alemania (EEG) e iniciativas lideradas por ciudadanos en Alemania. [17]

Las iniciativas ciudadanas de energía (citizens' energy) colaboran con organismos públicos como municipalidades, proveedores públicos de energía e instituciones financieras públicas.

Aunque los municipios (ayuntamientos) no suelen formar parte habitualmente de las cooperativas de energía, sí suelen apoyar las iniciativas cediendo espacios (terrenos o tejados de edificios públicos) para la instalación de instalaciones energéticas.

Colaboran también con instituciones de crédito públicas (banca cooperativista o bancos de ahorro (similar las antiguas cajas de ahorros en España) que aportan financiación, pero también juegan un papel para atraer nuevos miembros a la cooperativa, marketing, o asesoramiento sobre las infraestructuras, construcción o aseguramiento de las instalaciones renovables. La fórmula del crowdfunding también se ha extendido recientemente en Alemania, donde se han creado diferentes plataformas centradas en cooperativas energéticas.

A pesar de lo dicho anteriormente sobre la situación actual de la mayoría del país, el Gobierno Alemán lleva más de una década apoyando intensamente la creación de Cooperativas dando prioridad al acceso a la red eléctrica, apoyando la innovación y tecnologías renovables. Estas iniciativas del gobierno alemán dirigidas específicamente al fomento de CES, como el programa "Bioenergy villages" (Bioenergiedorfs), lanzada en 2005 con el objetivo de promover la creación de Comunidades Energéticas Sostenibles (CES), cuya actividad se centre en la bioenergía (BMEL,2015).

Actualmente, existen unos 170 pueblos bioenergéticos y otros 55 están en proceso de constitución. Otras medidas que aplicaba era la disponibilidad de capital de préstamo en condiciones preferentes, así como suficiente número de personas con posibilidades económicas para invertir. Estas medidas junto a cambios legislativos y una gran tradición de activismo energético local, favorecida por la gran tragedia nuclear de Chernovil del año 1986, han favorecido su expansión.

Algunos casos de ejemplo son:

BIOENERGIEDORF JÜHNDE EG, que se fundó en el año 2005, actualmente cuenta con 1.200 miembros, y es un tipo de organización de actividades Cooperativas para la gestión de electricidad renovable, generación y suministro de calor renovable; Redes de calefacción de distrito (suministro independiente). El calor se distribuye a través de una cuadrícula local a los hogares. Las Tecnologías que se utilizan son el viento de energía, solar, biomasa (ensilaje, chips de madera); Biogás, ChP; Grid de calefacción al pueblo (gas). La generación potencial de renovable es de alrededor de 5 MWh de electricidad que se genera anualmente; Y el suministro de la cuadrícula de calefacción de 4.5 MWh. De este porcentaje cerca de 3.5 MWh se utiliza en los hogares anualmente.

ELEKTRIZITÄTSWERKE (EWS) SCHÖNAU EG. Jühnde es la primera aldea de Alemania para producir calor y electricidad por medio de biomasa renovable (plantas en forma de ensilaje y astillas de madera), convirtiéndose así en la primera aldea para ser autosuficiente y producir RES con la participación de los consumidores. Los objetivos cumplen con la demanda de energía completa de la aldea por renovables. Uso de energía sostenible, evitando los combustibles fósiles, soluciones locales para resolver el cambio climático; Suministro de calor y electricidad independiente a través de la biomasa para la agricultura, la ecología y la vida rural.

SPRAKEBÜLL VILLAGE EG. Se fundó en 1998, posee 300 miembros. Organización Type GmbH & CO. El modelo de actividad es de generación de electricidad renovable, suministrar calor renovable y generar Calefacción de distrito. Para ello utilizan tecnología del Viento energético, solar; Calefacción de distrito (CHP, biogás y red de calefacción) Generación renovable (o capacidad) 130 MW (viento, biogás); Producción anual: 1878110 kWh (viento). SprayBÜLL se formó como un proyecto comunitario de parque eólico pionero por un grupo de ciudadanos del pueblo. Del mismo modo empezaron a comprar calor de la planta de biogás privada y la distribuyen a través de la red de calefacción a los habitantes. Los ingresos y los derechos de voto se distribuyen de acuerdo con el número de acciones. En 2011, el parque eólico Stadum-Sprakbüll se creó adicionalmente con 3 molinos de viento y una capacidad de generación de 2,5 MW cada uno. En 2014 se realizó el primer proyecto de repowering. Donde los 5 molinos de viento originales, cada 1,65 MW fueron reemplazados por los que producen 3,6 MW cada uno. Sus objetivos son la autosuficiencia y evitar la energía de fuentes fósiles. El estado de Schleswig Holstein ha alcanzado el suministro de electricidad 100% renovable en 2020.

ELEKTRIZITÄTSWERKE SCHÖNAU, EWS es una cooperativa energética fundada por un movimiento ciudadano que pide el fin de la electricidad generada a partir de energía nuclear tras el desastre de Chernobyl en 1986. Desde 1997, la red eléctrica local está oficialmente en manos de la cooperativa. El domicilio social se encuentra en Schönauf (Baden-Württemberg). La cooperativa cuenta actualmente con más de 7.872 socios. La cooperativa está abierta a personas físicas, sociedades y personas jurídicamente privadas y públicas, pero sujeto a una serie de condiciones de afinidad y la compra de acciones (mínimo 5 acciones o 500 €) y la firma de una declaración incondicional de adhesión y aprobado por el Consejo (autoridad discrecional para rechazar determinadas solicitudes). Como beneficio, EWS Schönauf emite dividendos de forma constante, que oscilan entre el 2% y el 3,5% de los beneficios. Aunque el dividendo podría ser mayor, la propuesta de aumentar el monto es rechazada sistemáticamente por la mayoría de los miembros. Quieren que el capital se reinvierta en nuevas instalaciones y tecnologías de producción.

2.3 LAS COMUNIDADES ENERGÉTICAS EN ITALIA

En 1962 se produjo la nacionalización de la energía eléctrica en Italia, aunque las Comunidades energéticas históricas siguieron funcionando. Hoy tenemos cooperativas históricas y consorcios con su propia red de distribución. 28 cooperativas históricas y un consorcio, ubicadas principalmente en la zona alpina, todos en el noreste de Italia. Hasta los últimos cambios legislativos eran muy diferentes a lo que se propone que deben ser las CEL. Parten de ser por su ubicación centrales hidroeléctricas y de biomasa. Muchas de las cooperativas son operadores de sistemas de distribución local y gestionan redes de calefacción urbana.

Actualmente el artículo 42-bis del primero Decreto italiano Milleproroghe 162/2019, y hoy la Ley 8/2020 del 28 de Febrero de 2021, rige las Comunidades energéticas Italia [18]. Esta Ley ha recogido tanto a las plantas de producción de renovables existentes que no superen el 30% de la potencia final de la CEL, así como a aquellas plantas de producción de energía renovable de menos de 1MW.

En Italia existen según el informe de Legambiente [19] hoy existen 35 comunidades de energía renovable en Italia y otras 40 están en proceso de creación. Un total de 100 CEL pueden estar en breve funcionamiento. Principalmente están en Piamonte, Véneto, Emilia Romana y Lombardía. Su producción energética está entre 20 y 60 kW. Se estima que el crecimiento puede multiplicarse por mil en los próximos años y se conseguirá llegar a 1,2 millones de personas en pocos años.

De acuerdo con lo dispuesto en el Decreto Milleproroghe, el autoconsumo colectivo se compone de una pluralidad de consumidores ubicados dentro de un edificio donde hay uno o más sistemas alimentados exclusivamente de fuentes renovables. Se establece que los socios que participen deberán producir energía para autoconsumo con plantas alimentadas por fuentes de energía renovables total

no superior a 200 kW. Se usan las redes para el vertido de la producción y se realiza una compensación virtual de los consumos energéticos.

La comunidad de energías renovables debe estar formada por los consumidores ubicados en la red eléctrica de baja tensión, bajo el mismo punto del transformador de media/baja tensión. Se establecen curvas de producción y consumo de los participantes, que conservan sus derechos como clientes finales, incluido el derecho a elegir su proveedor y salir por la comunidad cuando lo deseen.

Se han establecido tarifas incentivadoras de autoconsumo y la transmisión de energía entre plantas. Todo esto se realiza para promover los sistemas de autoconsumo directo, así como mejorar la flexibilidad del sistema. Del mismo modo las deducciones fiscales o a través del impuesto del Ecobonus tratan de favorecer su desarrollo. Algunos ejemplos en Italia son:

COOPERATIVA ALTO PERO ELÉCTRICA que fue fundada en Friuli en 1911, o FUNES nació en 1921 en Tirol del Sur bajo el nombre de "Società Elettrica Santa Maddalena, o EWERK PRAD, la cooperativa Prato allo Stelvio de 1923, constituyen el modelo de evolución energética italiana. Principalmente están formadas por centrales de energía que producen y comercializan su energía entre los socios. En los últimos años se han creado nuevas CEL, como La COOPERATIVA DE ENERGÍA POSITIVA creada en 2015 en Nichelino, en la provincia de Turín, donde el socio puede, a través de una plataforma de TI, comprar las acciones de las plantas disponibles y construya su propia "planta virtual" con la que producir energía limpia. Hoy son cerca de 200 familias socias que ahorran costes energéticos de manera común.

COOPERATIVA ÈNOSTRA que nació en 2014 en Milán para suministrar energías renovables a familias, y empresas. Consta de 1000 socios consiguiendo con sus sistemas fotovoltaicos de producción un ahorro de un 60% del coste medio energético.

WEFORGREN, fundada en 2010 con sistemas fotovoltaicos ubicados en las provincias de Lecce y Verona.

COOPERATIVA FTI de Dobbiaco-San Candido que fue fundada en 2003 con una planta de biomasa de 1500 kW de electricidad, la calefacción central suministra energía a dos municipios de Dobbiaco y San Candido. En el estudio de LEGAMBIENTE destacan dos creadas en los últimos años: Alpina Tirano, Villanovaforu y GECO [20].

El proyecto GECO (Comunidad de Energía Verde), creada en septiembre de 2019, producirá para 2023, en los distritos de Pilastro y Roveri de Emilia-Romagna, energía fotovoltaica a través de plantas en suelo y techos, que suministrará a 7.500 hogares y 200.000 metros de suelo industrial.

2.4 LAS CEL EN FRANCIA

ENERCOOP [21]. Fundada en el año 2005, cuenta con 11 Cooperativas con 50.000 miembros, 230 trabajadores, 300 embajadores. El tipo de organización se denomina Société Coopérative d'Intérêt Collectif (SCIC), cuyas actividades son el suministro de electricidad renovable (proveedor de electricidad 100% renovable, compra electricidad directamente a productores de energía renovable) y el ahorro de energía. Utiliza la tecnología de Energía Solar, eólica, hidráulica, biogás.

Enercoop es el único proveedor de energía en forma de cooperativa de “empresa social” de Francia. Es uno de los pocos proveedores de electricidad verde que compra energía directamente a los productores. Formada por 11 cooperativas regionales independientes de energía renovable, Enercoop opera en 100 planta hidroeléctricas, 25 parques eólicos, 104 proyectos solares y 3 generadores de biomasa. En 2017 se generó 249 GWh de electricidad.

MOBICOOP [22]. Fundada en el año 2011, hoy cuenta con más de 20.000 socios. Es una organización Société coopérative d'intérêt collectif, cooperative para la movilidad en coche eléctrico. Su única actividad es la Movilidad compartida en coche eléctrico. Para ello utiliza la tecnología de Energía Car-pooling, car-sharing, transporte público, bicicletas compartidas. Mobicoop es una cooperativa en el campo de la movilidad compartida (car-pooling, car sharing). Garantiza que las soluciones de movilidad compartida estén disponibles para todos (personas con discapacidad, ancianos, recursos limitados). La anterior asociación de car-pooling (Co-voiturage libre) decidió convertirse en cooperativa (Mobicoop) en 2018.

SAS SÉGALA [23], se constituyó como organización Société Coopérative d'Intérêt Collectif Bois Énergie, que la forman 650 socios, con 190 empleados. Actividades Generación de electricidad renovable, producen energía Solar fotovoltaica. Con capacidad de generar 14 MW, 11.180.000 kWh; y han conseguido equipar 461 naves agrícolas con techos solares, buscando revitalizar las zonas rurales donde las actividades agrícolas están en declive. El proyecto fotovoltaico de Fermes de Figeac realizado por una empresa específica SAS Ségala Agriculture et Energie Solaire. La iniciativa de instalar techos solares en los edificios agrícolas se inició en gran medida como una reacción a las elevadas tarifas de alimentación en Francia.

2.5 LAS CEL EN REINO UNIDO

El sistema eléctrico en Reino Unido es central y conforme se acelera la transición hacia un modelo de energía distribuida más sostenible, se está incrementando en el número de proyectos de energía a escala local y comunitaria en el Reino Unido. Dentro del proyecto EnergyREV [24] financiado por el gobierno del Reino Unido, se evalúan las comunidades energéticas desde todas sus vertientes sostenibles, socia-

les y económicas. La integración de la producción de energía renovable, las relaciones comerciales P2P del sistema, entre otros son los grandes temas que hoy se plantean el sector.

Como ejemplo de CEL ya desde hace décadas en comunidades remotas e insulares, como las islas escocesas de Eigg y Fairisle, se crearon los sistemas que hoy han ido evolucionando en sistemas revolucionarios de energías renovables. En estos momentos se están evaluando distintos proyectos que proporcionarán información sobre la experiencia de las barreras técnicas y sociales. Esta información aportará información sobre áreas clave de investigación y políticas que potencien el desarrollo de las CEL.

A través de EnergyREV figura 24, donde se estudian todos aquellos aspectos que mejoren la integración y desarrollo de la Energía en comunidades locales. Las comunidades pueden adquirir herramientas de compromiso de energía local inteligente (SLEET) que les permitirán a los usuarios administrar, controlar y observar mejor la energía. Todo esto les servirá para tener una mayor implicación en el proyecto. El programa promueve las relaciones P2P entre usuarios, la creación de lugares locales energéticamente inteligentes, el desarrollo de tecnología y atracción de talento, entre otras cuestiones de gran evolución en el país.

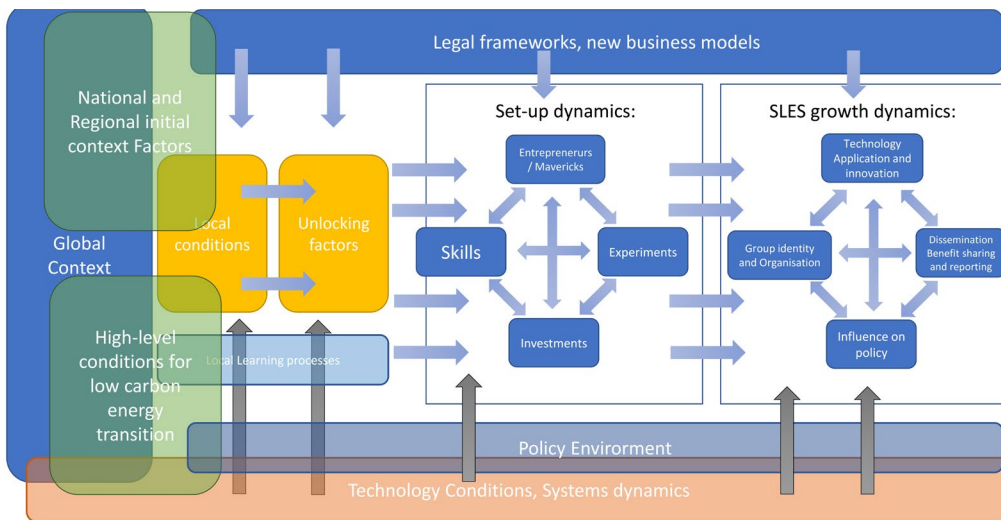


Figura 24: Mapa de transición de mejora de escala' Energy Rev. [24]

Un ejemplo de CEL en Reino Unido es:

ASHTON HAYES, CHESHIRE, Community Energy Company (CIC) cuyo objetivo fue convertirse en la primera "comunidad carbono neutral" de Inglaterra. Esto ha dado lugar a una amplia cartera de iniciativas locales que incluyen educación, así como proyectos más prácticos, como el establecimiento de una empresa de energía comunitaria y la instalación de paneles solares. Cuenta con unas 1.000 viviendas agrupadas en la Comunidad.

2.6 LAS CEL EN PAÍSES BAJOS – HOLANDA

Actualmente el sistema eléctrico holandés está en pleno desarrollo de normativas que se adapten a la legislación europea, y consigan integrar las relaciones de los actores del sistema actual. **En el informe holandés “Poder para el pueblo”**, de la Universidad de Utrecht [25] se aborda la cuestión de responsabilidad de equilibrio, proponiendo una mayor capacidad al prosumidor de participar más activamente en el sistema eléctrico y no únicamente a través de las comercializadoras. El sistema TennT ajusta la oferta y demanda en un sistema cada vez más descentralizado y expuesto a picos de producción no controlada. Este estudio propone que el ‘cliente activo’ y la ‘comunidad energética de ciudadanos’ deben tener muchas más oportunidades de entrar en el mercado de la electricidad, además de los agregadores de demanda con servicios cada vez más digitalizados e inteligentes.

El sistema fotovoltaico holandés presenta actualmente tres formas de relacionarse contractualmente los prosumidores con la red. El actual sistema contempla responsabilidades económicas en el caso de incurrir en desequilibrios de la red, balanceado por su comercializadora a través de su contador inteligente. La transposición de lo dispuesto en la Directiva de Electricidad, el Reglamento de Electricidad y la directiva sobre energías renovables pide una revisión bastante radical del sistema holandés de equilibrar la responsabilidad. Se insta a que todo consumidor o productor de energía eléctrica debe tener acceso a los distintos submercados del mismo sistema de electricidad.

2.7 LAS CEL EN DINAMARCA

Desde la década de los años 70 los sistemas de producción de energía apoyados por la comunidad son una cultura establecida en Dinamarca. En Dinamarca hay cientos de aerogeneradores propiedad de 100.000 familias, que van de 1 a 10 turbinas de producción. El 86% de los aerogeneradores actuales también pertenecen a estas familias. La razón de esto es una ley de desarrollo de las energías que obliga a que al menos el 20% de las acciones de los nuevos proyectos de energía eólica deben ofrecerse a los ciudadanos.

Dinamarca es uno de los países más avanzados en la creación de un marco de comercialización de electricidad entre los consumidores. Esta cultura le ha llevado a convertir a las comunidades energéticas en actores del desarrollo de producción de energía eólica y fotovoltaica a nivel industrial. Un ejemplo de CEL es:

SVALIN, DELESTROM. La comunidad energética de Svalin en Dinamarca, se basa en el intercambio de energía entre las casas de la localidad, aplicando el proyecto Delestrøm. un proyecto impulsado por la compañía energética Norlys. El modelo utilizado en Svalin es desbloquear las preferencias de los consumidores por el uso de energía renovable y su disposición a pagar por eso y, al mismo tiempo, también

asociar a aquellos consumidores cuyas preferencias son los bajos precios de la energía. En el caso de Delestrøm, se estableció una red digital sobre la infraestructura existente, con unos 100 clientes de prueba. El objetivo de este ejemplo fue explorar cómo una CEL podría beneficiar al área, cambiar el patrón de consumo y comprender si un beneficio local fuerte ayudaría a involucrar a los clientes. Los distintos impulsores buscan una reducción de los impuestos a la energía, gremios y asociaciones de propietarios empoderados, transparencia y el sentimiento de propiedad local, y la prestación de servicios de flexibilidad.

Las barreras se pueden encontrar aún en una regulación poco clara e incierta, la falta de datos en tiempo real para realizar operaciones instantáneas o la necesidad de una mayor colaboración entre las empresas para ampliar la solución. Se proporcionaron recomendaciones claras en el sentido de que deberían utilizarse formas de organización bien establecidas (gremios, asociaciones, cooperativas) para desarrollar soluciones que también puedan activarse en el parque de edificios existente.

2.8 LAS CEL EN CHEQUIA

Exnaton es una empresa derivada de estudiantes de Quartierstrom. Sobre un proyecto de investigación suizo “Quartierstrom” [26], conectando los hogares para formar una comunidad energética. El proyecto piloto en Walenstadt se llevó a cabo en cooperación con el proveedor de energía local y contó con un total de 37 participantes con 28 sistemas fotovoltaicos, 8 sistemas de almacenamiento de baterías). En el momento del inicio del proyecto, no había contadores inteligentes disponibles, lo que hizo necesario el despliegue de 75 indicadores de rendimiento inteligente (PI) Raspberry Pis como contadores inteligentes. El equipo del proyecto estableció una plataforma distribuida basada en la tecnología blockchain y se instaló cada 15 minutos. A los participantes se les proporcionó una aplicación web que visualizaba sus datos energéticos en tiempo real dentro de la comunidad y les permitía establecer opciones de precio tanto en el lado de venta (precio mínimo) como de compra (precio máximo). Las soluciones escalables que se implementaron para un gran número de participantes requirieron de soluciones de hardware y software fácilmente disponibles, fáciles de obtener y aplicar. BLOCKCHAIN resultó ser una buena solución de software para construir una comunidad energética de abajo hacia arriba, sin embargo, la tecnología de bases de datos escalables también podría servir como estándar. Según los informes, la motivación y la satisfacción del usuario han sido altas, y los usuarios se han involucrado intensamente con la aplicación proporcionada por el equipo.

2.9 LAS CEL EN GRECIA

La regulación jurídica de las Comunidades energéticas griegas se produjo con los cambios normativos en la Ley de Cooperativas, los problemas que presentan estas figuras y la aparición de nuevas entidades jurídicas [27] exactamente con la Ley 4513/2018.

En Grecia se definió a las Comunidades energéticas como cooperativas civiles que tienen como objeto exclusivo promover la economía social y solidaria y la innovación en el sector energético; la lucha contra la pobreza energética y la promoción de la energía sostenible, la producción, almacenamiento, autoconsumo, distribución y suministro de energía. Todo esto se buscó para alcanzar los objetivos energéticos europeos. En 2018 Grecia aprobó la ley por la que regula las comunidades energéticas, siendo así, el primer país en Europa en regular esta entidad; no obstante la definición de estas normas jurídicas hacia el interés general ha creado marcos no compatibles con la actividad del sector energético y las relaciones de los actores que la componen. Las relaciones económicas provocadas por la propia actividad, como ejemplo la identificación de la propiedad de los excedentes de producción, era en sí un problema de difícil solución. Esta Ley nació en un momento de pobreza energética y buscó la forma de asistir cooperativamente esta situación. El 23% de los hogares griegos mostraban problemas de poder cubrir sus costes energéticos en el año 2018 [28].

El número de las comunidades energéticas (CC.EE.) registradas en el Registro General Mercantil asciende a 330. De ellas 315 están activas, una está en fase de disolución/liquidación y 12 están en estado de preinscripción.

La gran mayoría de las Comunidades Energéticas se encuentran en el norte de Grecia, y en concreto en la región geográfica de Macedonia y de Tracia (58%) mientras alrededor de un 20% de ellas están activas en la región de Grecia Central. En las comunidades energéticas griegas se observa el importante papel que la administración pública promoviendo a favor de los actores de las zonas, como agricultores, familias vulnerables, islas, e incentiva la innovación técnica. Algunos Ejemplos son:

Minoan Comunidad Energética creada en octubre de 2019, de acuerdo con la Ley 4513/2018, formada por ciudadanos y entidades públicas.

Comunidad Energética de Karditsa, es un ecosistema de empresas sociales (del sector productivo, bancario y de servicios) ofreciendo asistencia financiera, y donde se encuentra la Sociedad Cooperativa Energética de Karditsa. Es una cooperativa civil que se formó en 2010 de acuerdo con la Ley 1667/1986 y en ella participan 400 miembros.

Comunidad Energética de Tesalia. La primera comunidad energética agrícola de Grecia, y fue creada en la región de Tesalia, tiene su sede en Larissa y es autofinanciada.

En esta comunidad energética se instala la primera turbina eólica griega, con una capacidad de 50 kW y un parque con una potencia fotovoltaica de 950 kW.

2.10 SITUACIÓN DE LAS CEL EN EE.UU. Y AUSTRALIA

Las Comunidades energéticas rurales tienen una gran tradición en EE.UU., y tratan de brindar un servicio a los estadounidenses rurales ofreciendo la oportunidad de una mejor calidad de vida.

EL proyecto SUNDA comenzó en 2015 (Aceleración de implementación de redes de servicios públicos solares), y asoció a 17 cooperativas de 10 estados para desarrollar conjuntamente 22 instalaciones solares, por un total de más de 30 megavatios.

Este proyecto ayudó a reducir riesgos, eliminar obstáculos administrativos, y reducir costos, y ahora, más de 400 cooperativas ofrecen energía solar a sus miembros. Las cooperativas incluso fueron pioneras en el modelo solar comunitario y ahora lideran la industria con 198 proyectos en todo el país.

Hoy en día las Cooperativas energéticas están en toda USA, y presentan nuevos proyectos al amparo de las nuevas legislaciones, figura 25.

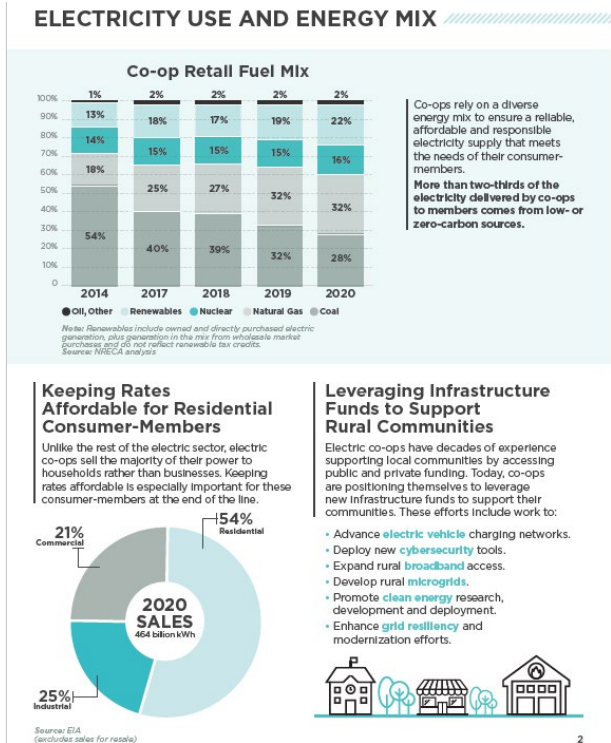


Figura 25: Cuadro resumen de NRECA 2020. [36]

Por otra parte, hoy en los Estados Unidos con la aprobación de la Ley de Reducción de la Inflación en agosto de 2022, se han introducido grandes incentivos para impulsar la producción de energía limpia. La fiscalidad ha sido la principal herramienta para apoyar esta transición, y concretamente uno de ellos ofrece un aumento del 10 por ciento en los beneficios fiscales federales si un proyecto de energía limpia se ubica dentro de una "comunidad energética".

En algunos sectores se está incidiendo en la necesidad de definir el concepto de “Comunidad Energética”. En el artículo de Resources for the Future (RFF), [29] se comenta que la Ley promueve incentivar Comunidades Energéticas en entornos con altas cotas de desempleo y despoblación.

Uno de los Estados que más se ha adelantado a la transición energética ha sido sin duda **California**. El proyecto EPIC, y el programa de I+D de electricidad siguen invirtiendo en mejorar:

- Generación renovable y cero carbono.
- Almacenamiento de energía de larga duración.
- Eficiencia energética.
- Flexibilidad de carga eléctrica.

Las Comunidades Energéticas en California han tenido gran desarrollo a través de comunidades con bajos recursos.

Un ejemplo es **La Microgrid MBG** [30] nace en el barrio de Brooklyn en New York, donde los prosumidores son propietarios de paneles solares residenciales y comerciales. Estos prosumidores venden el exceso de energía solar que generan a los residentes de la ciudad de Nueva York que buscan consumir energía renovable en lugar de combustibles fósiles.

La tecnología Blockchain [31] aportó la posibilidad de realizar las transacciones y se permitió realizarlo en cryptomoneda. Los beneficios son tanto medioambientales, sociales y económicos [32].

Dentro de los EE.UU. existen también los movimientos de Comunidades energéticas que nacieron en el movimiento del cambio climático y que la EPA [33], Environmental Protección Agency las fué agrupando en el movimiento Green Power Communities.

De la misma forma el Departamento of Energy (DOE) promovió el proyecto piloto LEAP [34] (Programa de acción de energía local) con el objetivo de facilitar beneficios económicos y ambientales sostenidos en toda la comunidad, especialmente a las comunidades de bajos ingresos.

En **Australia** desde hace una década distintas áreas urbanas se han organizado en Comunidades Energéticas, no obstante el gran desarrollo del autoconsumo se ha producido en los edificios residenciales aislados. El gran desarrollo de las Comunidades Energéticas a venido a través del modelo de Cooperativa con las características propias de la ley australiana de Cooperativas. Dentro de este desarrollo he querido destacar el ejemplo de HEPBURN ENERGY [35].

Modelo reconocido internacionalmente por su apuesta decidida de crear plantas solares y eólicas rurales, controladas por sus socios, que en la mayoría de los casos actúan como prosumidores. La principal característica de esta Cooperativa ha sido su firme apuesta por seguir invirtiendo en tecnologías que

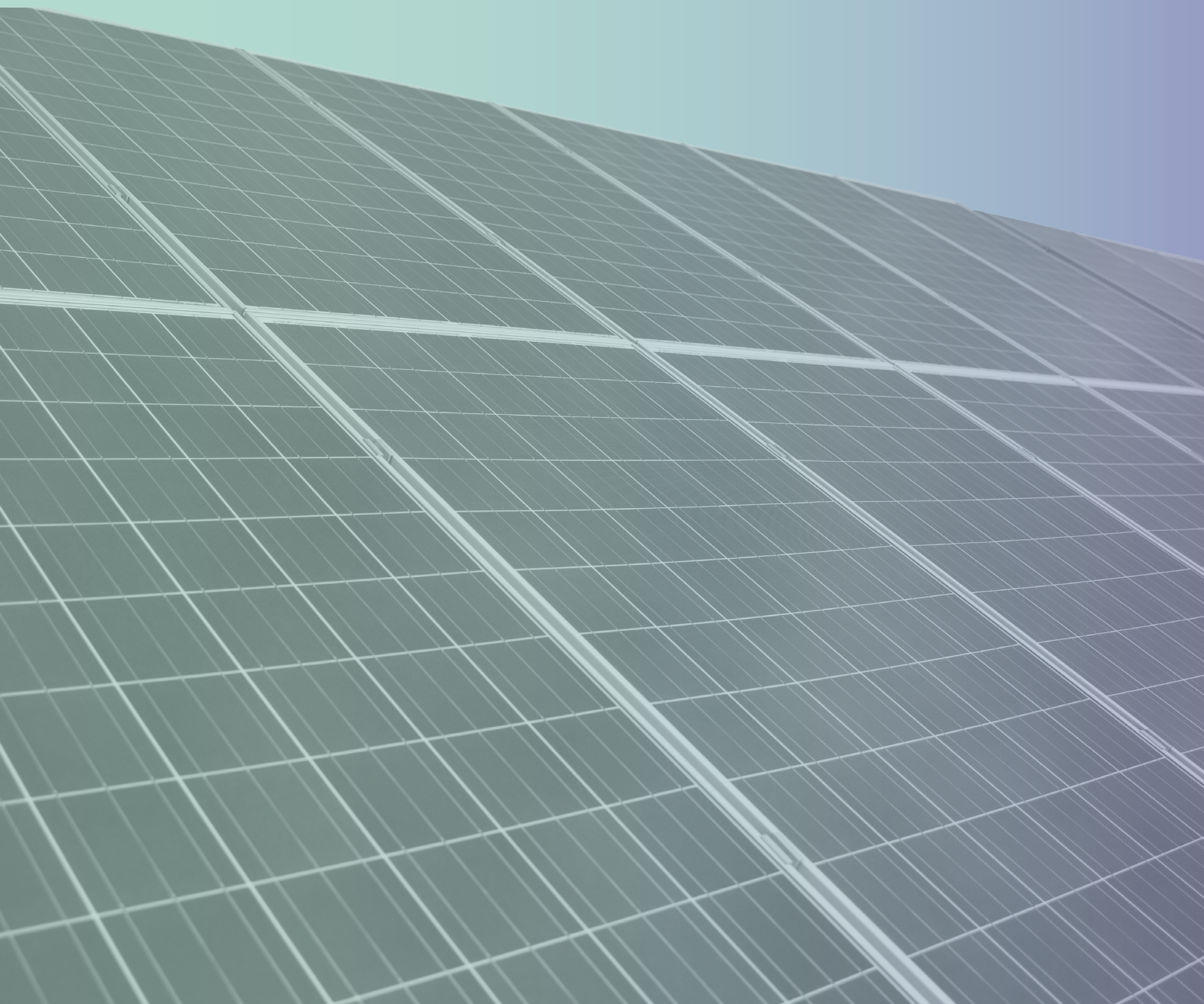
hiciese su proyecto más rentable, sostenible y respetuoso con el medio. Aprovechando las características del modelo, reparto de acciones entre sus socios y fondo común de inversiones, han conseguido convertirse en el referente australiano. Cada socio tiene un voto en las asambleas, independientemente del número de acciones que ostente, y actualmente son más de 2.000 socios. Sus tecnologías de producción son principalmente solar y eólico, almacenan y están presentes en todos los negocios del sistema energético australiano. Los rendimientos económicos recibidos de Hepburn Energy son la suma de dividendos, reembolsos y rendimientos de capital. El asesoramiento fiscal y financiero es individual y externo. Según sus propias declaraciones algunos miembros deciden cambios en su estatus como socios debido a la relación fiscal que les provoca el régimen cooperativo.

REFERENCIAS

1. Frans H. J. M. Coenen, Thomas Hoppe (2021). Renewable Energy Communities and the Low Carbon Energy Transition in Europe, <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-84440-0>
2. <https://www.smart-energy.com/industry-sectors/new-technology/microgrid-laboratory-enables-asset-testing-within-diverse-configurations/>
3. Guía de Comunidades Energéticas Rurales; https://wayback.archive-it.org/12090/20240322083718/https://rural-energy-community-hub.ec.europa.eu/index_en?prefLang=es
4. Mona Bielig a,* , Celina Kacperski a,b , Florian Kutzner a , Sonja Klingert Critically reviewing the social impact of energy communities in Europe 2022.
5. Hoicka, C. E., Lowitzsch, J., Brisbois, M. C., Kumar, A., & Ramirez Camargo, L. (2021). Implementing a just renewable energy transition: Policy advice for transposing the new European rules for renewable energy communities. *Energy Policy*, 156, 112435.
6. Plan Nacional Integrado de Energía y Clima; <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/pniec.aspx>
7. Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia <https://www.cnmv.es/portal/verDoc.axd?t=%7Bd-1d9e937-109f-4f54-909c-2d5ac69e3c75%7D>
8. UNEF. Informe Anual 2019. <https://www.unef.es/es/recursos-informes?idMultimedia-Categoria=18>
9. IDAE, <https://informesweb.idae.es/visorcce/>
10. Cooperativa Energética Ecooo. <https://ecooo.es/oleadasolar/comunidades-energeticas-locales/>
11. Enercoop ; <https://www.grupoenercoop.es>
12. Mainstreaming Community Energy: ¿Es la energía renovable Directiva a Impulsor de las Comunidades de Energía Renovable en ¿Alemania e Italia? Michael Krug 1,* , María Rosaria Di Nucci 1 , Matteo Caldera 2 y Elena De Luca 2
13. Holstenkamp, L. The Rise and Fall of Electricity Distribution Cooperatives in Germany. Working Paper Series in Business and
14. DGRV Energy Cooperatives in Germany. State of the Sector 2021 Report. Available online: <https://www.dgrv.de/wp-content/>
15. Sittler, L., Held, A., & Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy. (2022). Energy sharing in Europe: Potenzialanalyse. Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW).
16. Artículo Appun K. en CLEAN ENERGY WIRE2019
17. Khala et al. 2007, Publicación de la Comisión Europea JRC (Joint Research Centre),
18. Autoridad Reguladora de Energía, Redes, y Medio Ambiente (ARERA) (Delibera 233/2020/R/eel de 23 de junio de 2020),

19. Legambiente. (n.d.). Comunità rinnovabili. Recuperado de <https://www.legambiente.it/rapporti-e-osservatori/comunita-rinnovabili/>
20. Enel Green Power. (20 de septiembre de 2023). Qué son las Comunidades de Energía Renovable. <https://www.enelgreenpower.com/es/paises/europa/italia/comunidades-energeticas-renovables>
21. Dupont, J., & Martin, A. (2023). El modelo cooperativo de Enercoop: Energía renovable y ciudadanía activa en Francia. *Revista de Energía Sostenible*, 12(3), 75-90. Recuperado de <https://www.enercoop.fr/notre-projet>
22. Lefèvre, P., & Dubois, C. (2022). MOBICOOP: Innovación en movilidad cooperativa y su impacto en la sostenibilidad urbana. *Revista de Movilidad Sostenible*, 8(2), 45-62. Recuperado de <https://www.mobicoop.fr/utilisateur/connexion>
23. Girard, E., & Fournier, L. (2023). SAS SÉGALA: Integración de energía solar en la agricultura sostenible. *Revista de Energías Renovables en la Agricultura*, 10(1), 33-47. Recuperado de <https://energie-partagee.org/projets/se-gala-agriculture-energie-solaire>
24. Thompson, J., & Williams, S. (2023). ENERGY REV: Innovaciones en redes energéticas inteligentes y sostenibilidad urbana en el Reino Unido. *Journal of Renewable Energy Research*, 15(2), 120-135. Recuperado de <https://www.energyrev.org.uk/>
25. Jansen, M., & De Vries, L. (2021). Power to the People: Innovaciones en la transición energética a través de la participación ciudadana (Informe TKI). Universidad de Utrecht. Recuperado de <https://www.uu.nl/sites/default/files/rebo-Power-to-the-People-rapport-TKi-2021.pdf>
26. Schmidt, A., & Müller, K. (2022). Quartiers-trom: Un modelo innovador de redes de energía en barrios (Informe del Proyecto EXNATON). EXNATON. Recuperado de <https://www.exnaton.com>
27. Fajardo García, G., & Frantzeskaki, M. (2021). Las comunidades energéticas en Grecia: Modelos y desafíos.
28. Fajardo García, G.; Frantzeskaki, M. *Revesco* (137) 2021: 1-15 11
29. Agencia Interdepartamental del Gobierno de los EE.UU. <https://energycommunities.gov/priority-energy-communities/>
30. Smith, J., & Lee, R. (2023). Tendencias y desafíos en el desarrollo de microredes: Perspectivas desde Microgrid Knowledge. *Journal of Microgrid Research*, 7(3), 45-60. Recuperado de <https://energy.endeavorb2b.com/microgrid-knowledge/>
31. NBC News. (2019, diciembre 5). Brooklyn microgrid: This startup is creating a local energy marketplace in Brooklyn. Recuperado de <https://www.nbcnews.com/mach/video/brooklyn-microgrid-this-startup-is-creating-a-local-energy-marketplace-in-brooklyn-72454213668>
32. Taulli, T. (2017, abril 19). Blockchain is helping to build a new kind of energy grid. *MIT Technology Review*. Recuperado de <https://www.technologyreview.com/2017/04/19/243021/blockchain-is-helping-to-build-a-new-kind-of-energy-grid/>
33. U.S. Environmental Protection Agency. (n.d.). Green power communities list. Recuperado de <https://www.epa.gov/greenpower/green-power-communities-list>
34. U.S. Department of Energy. (n.d.). LEAP communities: Empowering local communities through energy innovation. Recuperado de <https://www.energy.gov/communitiesLEAP/communities-leap>
35. Brown, L., & White, S. (2021). Evaluating community-led renewable energy projects: The case of Hepburn Energy (Informe N.º 2021/03). University of Edinburgh. Recuperado de <https://www.ed.ac.uk/renewable-energy-research>
36. The National Rural Electric Cooperative Association <https://www.cooperative.com/nreca/Pages/default.aspx>

TECNOLOGÍAS DE ENERGÍAS RENOVABLES



3. TECNOLOGÍAS DE ENERGÍAS RENOVABLES APLICADAS A LAS CEL

3.1 DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS RENOVABLES

Las tecnologías de energías renovables y la generación distribuida han emergido como soluciones clave para las comunidades energéticas. Este estudio se centra en la evaluación de diversas tecnologías renovables y su aplicación práctica dentro del marco de comunidades energéticas sostenibles.

La transición hacia energías limpias en Europa requiere aumentar la capacidad de generación y la flexibilidad del sistema eléctrico. Se espera que la demanda de flexibilidad crezca significativamente, pasando del 11% en 2021 al 30% en 2050. Las Comunidades Energéticas pueden jugar un papel muy importante en la flexibilidad de la demanda a través de cuatro apartados según el informe 2023 de Wind Europe [1].

- 1. Flexibilidad del lado de la oferta:** Integración de energías renovables variables y tecnologías de generación baja en carbono.
- 2. Flexibilidad del lado de la demanda:** Uso de tecnologías como vehículos eléctricos y bombas de calor.
- 3. Almacenamiento de energía:** Sistemas de almacenamiento de baterías y plantas hidroeléctricas de bombeo.
- 4. Redes activas e interconectores:** Modernización y expansión de las redes de transmisión y distribución.

La digitalización y la electrónica de potencia son fundamentales para gestionar la complejidad y aumentar la flexibilidad del sistema eléctrico. La implementación de políticas innovadoras y nuevos modelos de negocio es crucial para acelerar la transición energética y garantizar la seguridad energética en Europa.

Según la Directiva (UE) 2023/2413 [2], las tecnologías renovables que considera son: La tecnología solar, térmica y eléctrica, la energía eólica, energía hidráulica, energía biomasa, biocombustibles y biogas, el hidrogeno verde, energía geotérmica, energía mareomotriz, bomba de calor, estas tecnologías se complementan con sistemas de almacenamiento de energía, como baterías y almacenamiento térmico, vehículos eléctricos, y redes eléctricas y térmicas como los llamados district heating and cooling DH&C.

Describiremos todas estas tecnologías y centrándonos principalmente en la Solar Fotovoltaica base del caso de estudio de este trabajo de I+D, siendo una de las tecnologías actuales más importante del desarrollo de las CEL.

3.2 TECNOLOGÍA SOLAR

3.2.1 Tecnología Solar Térmica

La energía solar térmica, también conocida como energía termosolar, representa una alternativa energética altamente sostenible y respetuosa con el medio ambiente, destacando por su versatilidad y capacidad de adaptación a diversas escalas de aplicación, desde grandes centrales eléctricas hasta pequeñas instalaciones residenciales. Este tipo de energía aprovecha la radiación solar para generar calor, que puede ser utilizado en la producción de energía eléctrica, agua caliente sanitaria, calefacción y, mediante procesos de refrigeración por absorción, incluso para la climatización de espacios durante periodos de altas temperaturas [3].

Como puede verse en la siguiente Figura 26, la energía solar térmica tiene un crecimiento exponencial a nivel mundial. La presente investigación doctoral analiza la arquitectura y la ingeniería de sistemas en instalaciones solares térmicas, fundamentales para el desarrollo sostenible de comunidades energéticas. Se analiza la funcionalidad y la interacción entre los componentes clave de dichas instalaciones, que son esenciales para la eficiencia y la optimización energética en el ámbito comunitario.

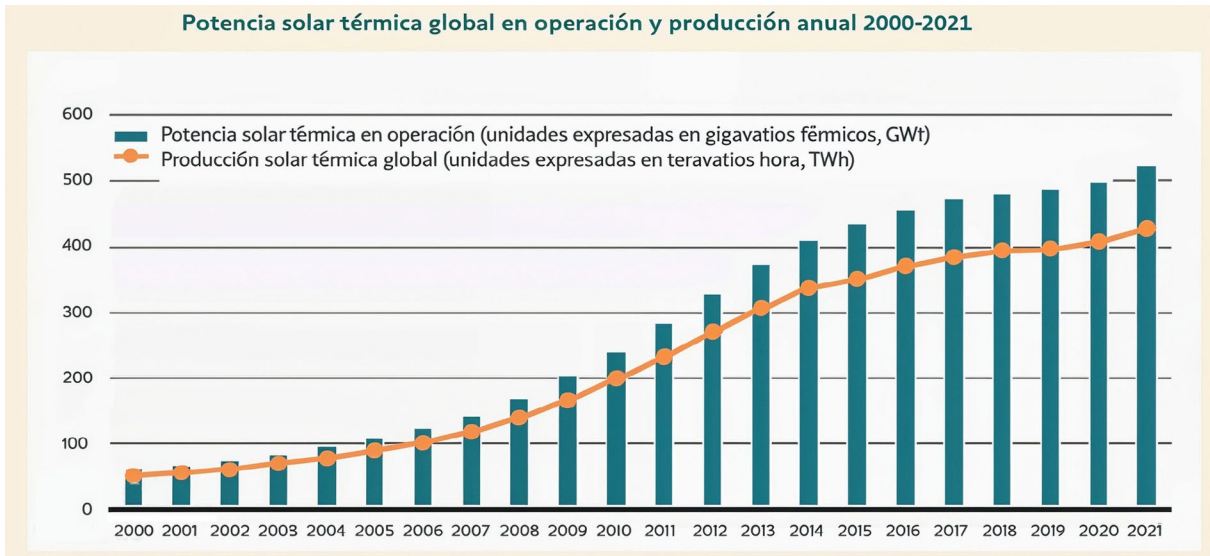


Figura 26: Potencia y producción solar térmica mundial. [27]

Los Elementos de un sistema de producción solar térmica para ACS son: **El sistema de captación e intercambio** de energía térmica que pertenece al circuito primario y tiene como función transformar la energía de la radiación solar en energía térmica, la cual es transmitida al agua de consumo en el circuito secundario a través de un intercambiador de calor. Este sistema está compuesto por placas solares, fluido de trabajo, tuberías, una bomba, un vaso de expansión y un intercambiador de calor.

Las placas solares, figura 27, captan la radiación solar y la transfieren al fluido de trabajo que circula por sus conductos internos. Este fluido, impulsado por una bomba en un sistema de circulación forzada, llega al intercambiador de calor donde transfiere su energía térmica al agua de consumo, completando así el ciclo. Al ser un circuito cerrado, el sistema incluye un vaso de expansión para absorber los aumentos de volumen del fluido de trabajo debido a la expansión térmica.

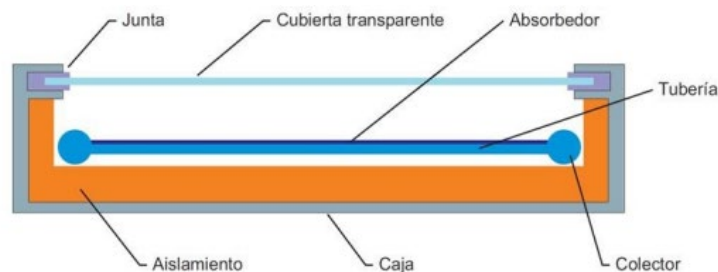


Figura 27: Sección constructiva de un captador solar plano indicando sus componentes. [4]

Existen otros tipos de captadores, CST para elevar la temperatura del agua con una eficiencia elevada, como son el captador de vacío y el de tubos de calor (Heat-Pipe), Figura 28.

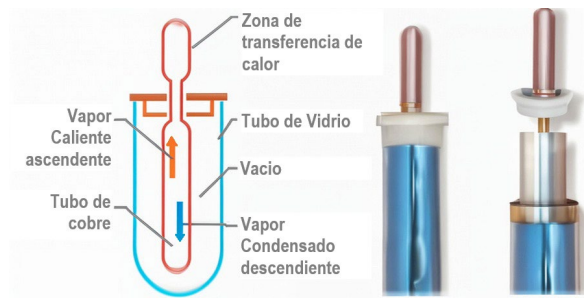


Figura 28: Captador de tubos de vacío y con "tubo de calor" (heat-pipe). [4]

El Rendimiento del CST [4] se puede expresar según la siguiente ecuación:

$$POT_{CAP} = M_{CAP} \cdot C_p \cdot (T_s - T_e) = \eta \cdot A_{CAP} \cdot G_t$$

Siendo,

M_{CAP} : el caudal másico que circula por el captador y es igual al caudal volumétrico multiplicado por la densidad del fluido.

C_p : el calor específico a presión constante del fluido.

T_s : la temperatura de salida del captador ($^{\circ}C$).

T_e : la temperatura de entrada del captador ($^{\circ}C$).

η : el rendimiento del captador.

A_{CAP} : la superficie o área útil del captador (m^2).

G_t : la irradiancia total sobre la superficie del captador (W/m^2).

La potencia térmica obtenida del captador solar es por tanto proporcional al rendimiento y a la irradiancia total por lo que es necesario conocer las variables de las que depende el rendimiento del captador. Figura 29.

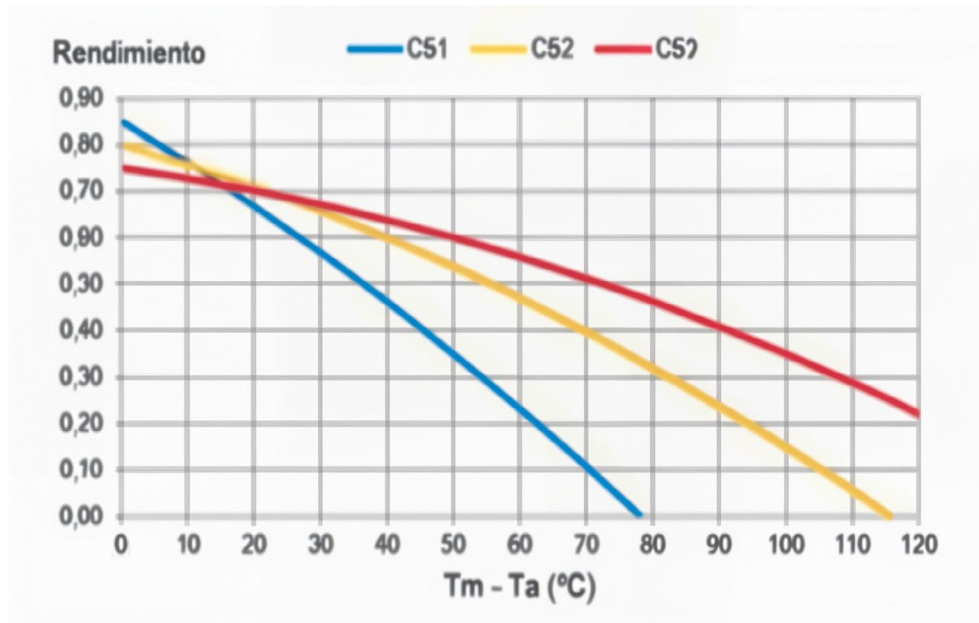


Figura 29: Rendimiento de tres tipos de captador solar. [4]

Una instalación solar para producir ACS, figura 30 se compone de **Sistemas de intercambio** que permiten la transferencia de calor entre diferentes circuitos. **Sistemas de Acumulación** que permite la gestión de la demanda y la oferta de energía. La distinción entre acumulación de inercia y de consumo refleja la necesidad de almacenar energía para diferentes usos y tiempos, optimizando así la disponibilidad de energía térmica. **Sistema Hidráulico y de Control** que forman la red que une todos los componentes.

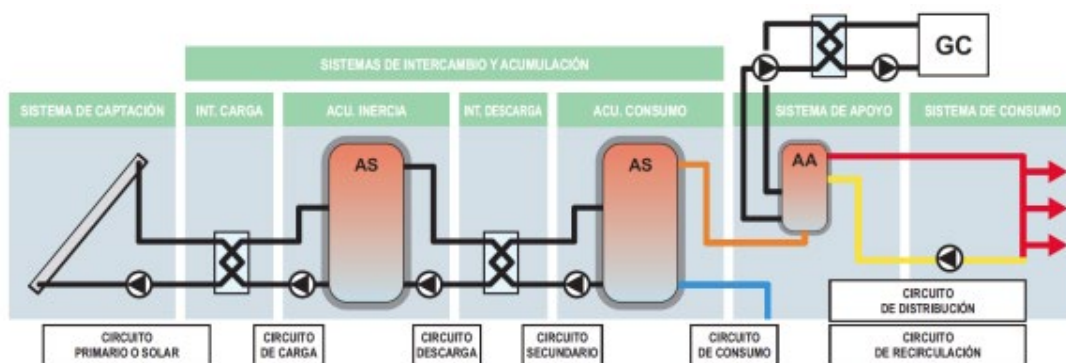


Figura 30: Esquema general de una instalación solar térmica. [4]

La selección de la configuración adecuada para una instalación solar térmica es crucial para satisfacer las demandas específicas de los usuarios y del edificio, y para lograr un equilibrio óptimo entre los aspectos técnicos y económicos. Dado el carácter de nuestra tesis de comunidades energéticas, abordamos con especial atención la aplicación en edificios de múltiples viviendas, destacando la importancia

de seleccionar configuraciones que equilibren eficiencia y costos, tanto en la fase de inversión inicial como en la operación y mantenimiento a largo plazo.

- **Configuraciones de Gran Tamaño:** Para instalaciones superiores a 70 kW (100 m²), se recomienda la utilización de acumuladores de inercia en lugar de acumuladores de agua caliente sanitaria. Esta alternativa ofrece ventajas económicas significativas debido a la reducción de costos de inversión, menores riesgos de legionelosis y disminución de las necesidades de mantenimiento.
- **Centralización de Sistemas en Edificios Multivivienda:** La configuración más eficiente desde un punto de vista económico y operativo es aquella en la que la instalación solar y el sistema de apoyo están completamente centralizados. Esta estructura requiere un diseño y ejecución cuidadosos, así como la implementación de un sistema automático para la medición de caudales y la distribución equitativa de gastos.
- **Evaluación de Configuraciones Alternativas:** Se debe realizar un análisis detallado de las ventajas y desventajas de cualquier configuración alternativa, considerando las particularidades de cada caso.
- **Pérdidas Térmicas:** Es crucial realizar una evaluación precisa de las pérdidas térmicas en este tipo de instalaciones para garantizar la eficiencia energética y la sostenibilidad del sistema.
- **Diseño de Circuitos de Distribución:** Se deben realizar diseños y ejecuciones meticulosos de los circuitos de distribución para reducir las pérdidas térmicas, lo cual es fundamental para la sostenibilidad y la eficiencia energética en edificios multivivienda.
- **Control de Consumos:** Se examina la relevancia de controlar o no los consumos individuales en las viviendas para una distribución justa del gasto energético. Este aspecto es vital para la gestión y la facturación justa de los servicios energéticos en la CEL, y puede influir significativamente en el comportamiento de los usuarios y en la aceptación de los sistemas de energía renovable.

Con el avance de las CEL se podría explorar modelos avanzados de optimización de la distribución de calor y estrategias de control de consumos que promuevan la eficiencia energética y la equidad en comunidades energéticas. Además, se podría investigar el impacto de estas configuraciones en la percepción de los usuarios y en su disposición a participar activamente en la gestión energética comunitaria. Podemos entender que aunque existen configuraciones alternativas, la centralizada, figura 31, debería ser la opción predeterminada en una CEL.



Figura 31: Montaje de acumuladores solares en el exterior y los circuitos hidráulicos que los conectan. [4]

3.2.2. Tecnología Solar Fotovoltaica (PV)

Las instalaciones solares fotovoltaicas, PV se presentan principalmente de dos tipos: instalaciones aisladas, buscando una aplicación directa con el sistema de consumo, e instalaciones conectadas a red, orientadas a la venta de energía eléctrica y autoconsumo.

En este trabajo de I+D, nos vamos a centrar en la tecnología fotovoltaica, su funcionamiento, y su integración en el marco de comunidades energéticas sostenibles. Los sistemas más extendidos en las CEL son los de autoconsumo compartido o distribuido. En un **sistema de autoconsumo distribuido o compartido**, las tecnologías necesarias se organizan en un esquema que integra la generación (como los colectores PV compuestos por las células fotovoltaicas), el almacenamiento de energía eléctrica (baterías), las redes eléctricas inteligentes (Smart grid) y la gestión de la energía y digitalización (EMS), con el objetivo de satisfacer las necesidades de los usuarios y contadores dentro de un radio de 2.000 metros de la producción.

La configuración de un sistema de energía de autoconsumo distribuida o compartida los equipos básicos necesarios se presentan en la figura 32.

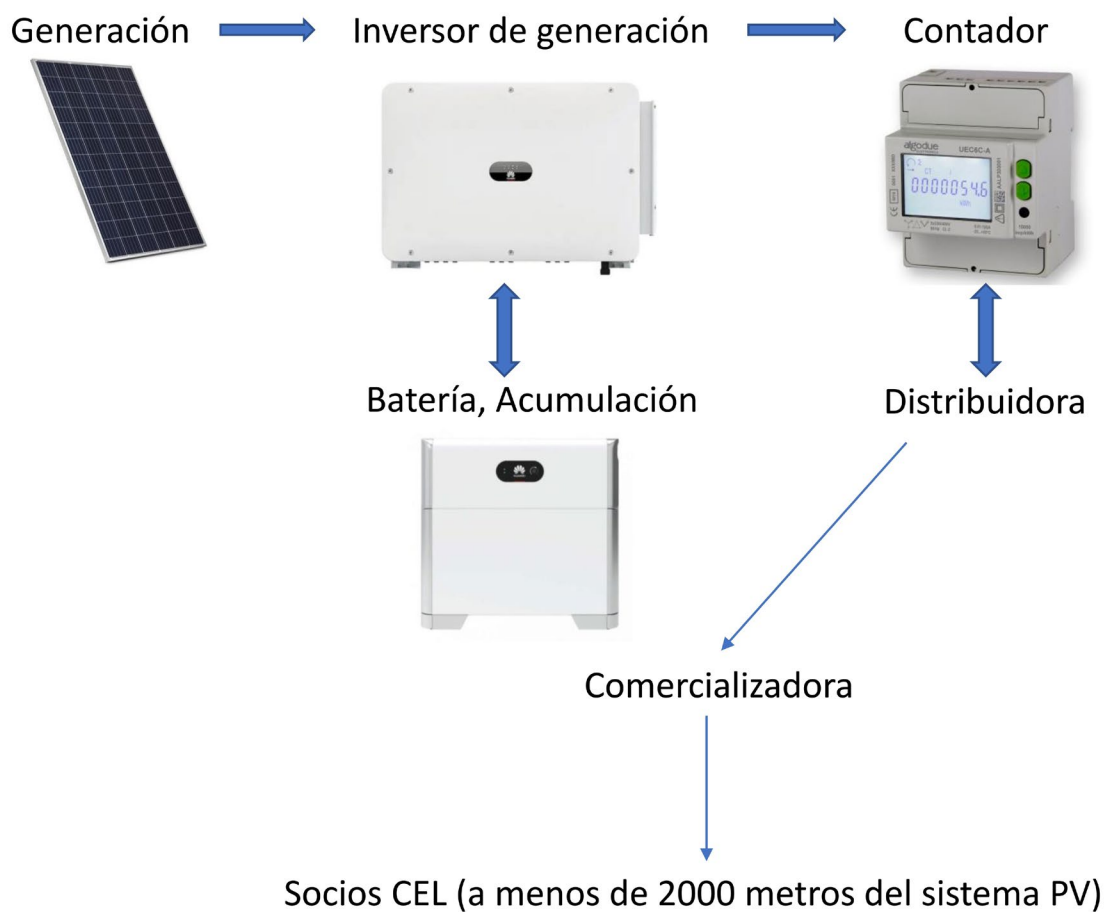


Figura 32: Esquema de sistema PV distribuido en una CEL. [Elaboración propia]

El efecto fotoeléctrico es el principio básico que permite a las **celulas fotovoltaicas** convertir la energía solar en electricidad. Cuando la luz incide sobre un material semiconductor, como es el silicio mono o policristalino, los fotones de luz liberan electrones, creando un flujo de corriente eléctrica. Este fenómeno se aprovecha en las células fotovoltaicas, donde la estructura del material semiconductor está diseñada para maximizar este efecto. Figura 33.

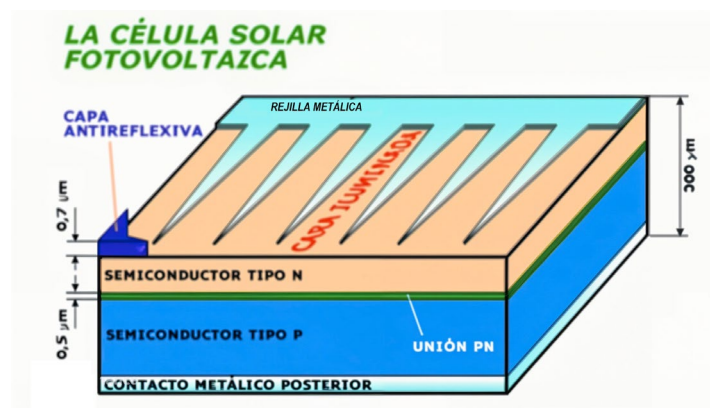


Figura 33: La Unión PN del Panel Solar PV. [5]

La unión PN es el componente crítico de una célula fotovoltaica. Esta unión facilita la creación de un campo eléctrico interno que dirige el flujo de electrones liberados por el efecto fotoeléctrico, generando así una corriente eléctrica utilizable, Figura 34.

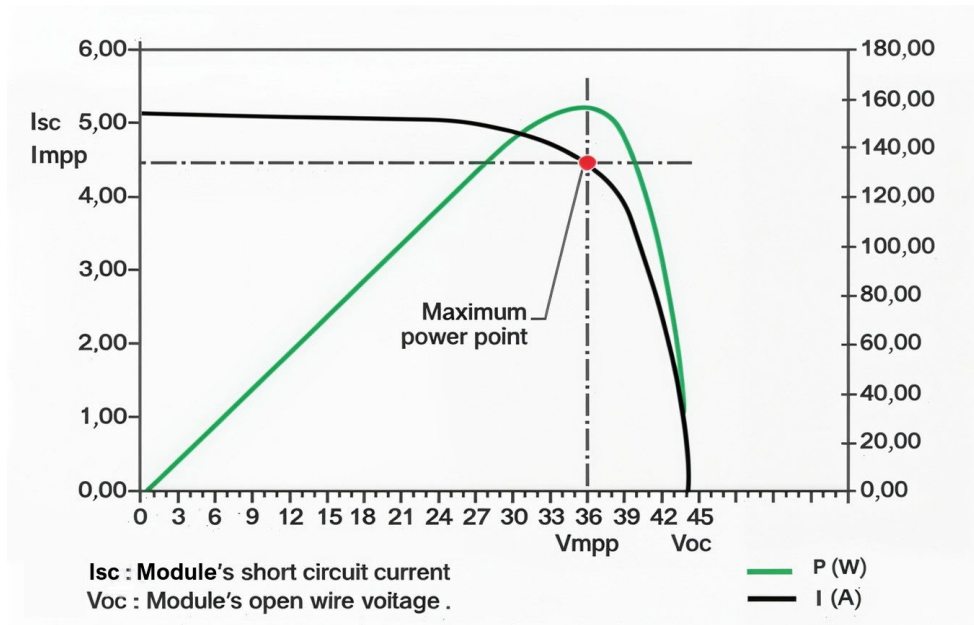


Figura 34: Curva Tensión/Corriente/Potencia de un panel PV. [9]

Las magnitudes o parámetros que definen la operatividad de un panel fotovoltaico son cruciales para entender su eficiencia y capacidad. Según Aparicio (2006), estos parámetros incluyen:

- **ISC (Intensidad de Cortocircuito):** Es la corriente máxima que puede fluir a través del panel fotovoltaico cuando sus terminales están cortocircuitados.
- **VOC (Tensión en Circuito Abierto):** La tensión máxima obtenida en los terminales del panel cuando no hay carga conectada.
- **Vn (Tensión Normal):** La tensión de operación estándar bajo condiciones normales de irradiación solar.
- **PM (Potencia Máxima):** La máxima potencia eléctrica que el panel puede entregar bajo condiciones óptimas.
- **VM (Tensión Máxima):** La tensión a la cual el panel entrega la potencia máxima.
- **IM (Corriente Máxima):** La corriente que el panel puede suministrar cuando opera a la tensión máxima.

Los factores ambientales como la temperatura y la irradiancia juegan un papel significativo en el comportamiento de las células, paneles y generadores solares. Estos elementos ambientales tienen la capacidad de alterar la corriente en cortocircuito, la tensión en circuito abierto y la potencia máxima que se puede obtener.

En cuanto a la configuración de los módulos fotovoltaicos, estos pueden ser combinados de diferentes maneras para adecuarse a las necesidades específicas de una instalación. La conexión en serie, conocida como STRING, implica la suma de los voltajes de cada panel manteniendo constante la potencia y la intensidad, conectando el positivo de un panel con el negativo del siguiente. Por otro lado, la conexión en paralelo incrementa la intensidad total y, por tanto, la potencia, manteniendo constante la tensión al unir los terminales positivos entre sí y los negativos entre sí. Existe también la posibilidad de combinar ambos sistemas en una configuración mixta para optimizar el rendimiento.

Las tecnologías de los paneles fotovoltaicos (PV) han evolucionado significativamente, ofreciendo diferentes tipos de materiales y estructuras para optimizar la conversión de la luz solar en electricidad. A continuación, se describen las tecnologías más comunes de los paneles fotovoltaicos:

1. Silicio Cristalino

- **Monocristalino (Mono-Si):** Fabricados a partir de un único cristal de silicio con alta eficiencia (15-20% o más). En cuanto a las características son de mayor costo de producción, pero ofrecen mayor eficiencia y durabilidad. Generalmente tienen una apariencia uniforme y oscura. Su aplicación es para espacios limitados debido a su alta eficiencia.
- **Policristalino (Poly-Si)** Fabricados a partir de múltiples cristales de silicio con eficiencia moderada (13-16%). Sus características son de menor costo de producción comparado con los monocristalinos, pero con menor eficiencia. Tienen una apariencia azulada y granulada. Se aplica en uso residencial y comercial en proyectos donde el espacio no es una limitación crítica.

2. Película Delgada

- **Silicio Amorfo (a-Si):** Utiliza una capa delgada de silicio depositada sobre un sustrato como vidrio o plástico. Baja eficiencia (6-10%). Bajo costo de producción y flexibilidad. Adecuado para aplicaciones en superficies curvas o integradas en edificios. Aplicaciones integradas en edificios (BIPV).
- **Teluro de Cadmio (CdTe):** Utiliza una capa delgada de CdTe Eficiencia Moderada (9-14). Bajo costo de producción y buena eficiencia en condiciones de poca luz. Aplicaciones en grandes instalaciones comerciales y plantas de energía solar.
- **Cobre, Indio, Galio y Selenio (CIGS).** Utiliza una combinación de estos materiales en una capa delgada. Eficiencia: Moderada a alta (10-20%). Alta eficiencia entre las tecnologías de película delgada, flexibilidad y potencial para aplicaciones en superficies no planas. Aplicaciones en Integración en edificios y aplicaciones flexibles.

3. Tecnologías Emergentes

- **Perovskita:** Utiliza compuestos con estructura de perovskita, notable por su rápida mejora en eficiencia. Alta eficiencia (15-25%). Bajo costo de producción y potencial para superar las tecnologías actuales en eficiencia. Aún enfrenta desafíos en durabilidad y estabilidad a largo plazo. Investigación en curso para aplicaciones comerciales.
- **Células Orgánicas (OPV):** Basadas en materiales orgánicos semiconductores. Eficiencia baja a moderada (5-12%). Las Características son de Flexibilidad y ligereza, pero con menor eficiencia y durabilidad en comparación con las tecnologías basadas en silicio. Aplicaciones de nicho donde la flexibilidad y el peso son más críticos que la eficiencia.
- **Células Solares de Multijuntura:** Utilizan múltiples capas de materiales semiconductores para capturar un rango más amplio del espectro solar. Muy alta eficiencia (30-45%). Altamente eficientes pero con costos de producción muy elevados, utilizadas principalmente en aplicaciones aeroespaciales o aplicaciones donde el costo es menos crítico que la eficiencia.

- 4 Heterojunction Technology (HJT). Combina capas de silicio amorfo y silicio cristalino. Alta eficiencia (20-25%). Alta eficiencia y mejor rendimiento en temperaturas elevadas comparado con otras tecnologías de silicio. **Aplicaciones** en Proyectos residenciales y comerciales donde la eficiencia es una prioridad.

El dimensionamiento adecuado de los sistemas fotovoltaicos es crucial para garantizar que el sistema funcione de manera eficiente, cumpliendo con las necesidades energéticas del usuario y optimizando los costos. Las etapas fundamentales para el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico son las siguientes:

1. Evaluación de la Demanda Energética

- **Análisis de Consumo:** Registrar y analizar el consumo eléctrico del lugar donde se instalará el sistema. Esto se hace revisando las facturas eléctricas y evaluando los patrones de uso.
- **Cálculo de la Demanda Diaria:** Determinar el consumo diario promedio en kilovatios-hora (kWh). Es importante considerar variaciones estacionales en el consumo.

2. Evaluación del Recurso Solar

- **Irradiación Solar:** Obtener datos de irradiación solar para la ubicación específica. Esto puede incluir datos mensuales y anuales de irradiación solar promedio.
- **Factores Climáticos:** Considerar factores como sombra, orientación e inclinación de los paneles, y condiciones climáticas locales que puedan afectar la producción de energía.

3. Dimensionamiento del Sistema

- **Cálculo de la Energía Producida:** Estimar la producción de energía del sistema fotovoltaico en función de la irradiación solar y la eficiencia de los paneles solares.
- **Número de Paneles Solares:** Determinar la cantidad de paneles necesarios para satisfacer la demanda energética calculada. Esto se hace dividiendo la demanda diaria por la energía que puede producir un panel en un día.
- **Capacidad del Inversor:** Seleccionar un inversor que sea capaz de manejar la potencia total generada por los paneles solares. La capacidad del inversor debe ser compatible con la potencia máxima del sistema.

4. Selección y Dimensionamiento de Componentes

- **Paneles Solares:** Elegir paneles solares adecuados en términos de eficiencia, costo y durabilidad.
- **Inversores:** Seleccionar inversores que conviertan la corriente continua (CC) generada por los paneles en corriente alterna (CA) utilizada en los hogares o empresas.
- **Estructuras de Montaje:** Seleccionar estructuras de montaje adecuadas para soportar los paneles solares, considerando la inclinación y orientación óptimas.
- **Baterías (si aplica):** En sistemas con almacenamiento, dimensionar las baterías para almacenar energía suficiente para cubrir la demanda durante períodos sin sol.
- **Controladores de Carga:** Utilizar controladores de carga para proteger las baterías de sobrecargas y sobredescargas.

5. Análisis Económico

- **Costos Iniciales:** Evaluar el costo total del sistema, incluyendo paneles solares, inversores, baterías, estructuras de montaje y otros componentes.
- **Ahorros y Retorno de Inversión:** Calcular los ahorros en costos de energía y estimar el período de retorno de la inversión.

6. Diseño e Instalación

- **Diseño del Sistema:** Crear un diseño detallado del sistema, incluyendo la ubicación de cada componente y el cableado necesario.
- **Instalación:** Realizar la instalación de acuerdo con las normativas locales y asegurarse de que todos los componentes estén correctamente conectados y funcionando.

7. Monitorización y Mantenimiento

- **Monitorización:** Implementar un sistema de monitoreo para supervisar la producción de energía y detectar posibles problemas.
- **Mantenimiento:** Programar mantenimiento regular para limpiar los paneles solares, inspeccionar los componentes y garantizar el funcionamiento óptimo del sistema.

Estas etapas garantizan que el sistema fotovoltaico esté correctamente dimensionado y funcione de manera eficiente, proporcionando la energía necesaria y optimizando los costos a lo largo de su vida útil. El dimensionamiento de la instalación fotovoltaica debe ser cuidadosamente calculado. Desde septiembre de 2019, la legislación permite realizar instalaciones con inyección de excedentes en la red eléctrica. Esto significa que la energía sobrante generada por los paneles PV puede ser inyectada en la red, y la compañía eléctrica compensará este excedente con los consumos realizados de la red eléctrica en horas sin producción solar.

La elección entre una conexión a red sin batería o con batería dependerá de la eficiencia deseada y del patrón de consumo. Sin baterías, el exceso de energía generada se inyecta en la red o se pierde, mientras que, con baterías, este exceso puede ser almacenado para su uso posterior. La generación de energía en España varía entre 1400 y 1700 kWh/kWp al año, dependiendo de la localización geográfica. Considerando un aprovechamiento medio del 50% y el perfil de consumo, se puede estimar el tamaño recomendado para la instalación fotovoltaica.

La generación fotovoltaica excedentaria durante las horas diurnas ofrece la posibilidad de **almacenar energía en baterías**, que posteriormente puede ser utilizada en periodos de baja producción solar o durante la noche.

Se calcula que aproximadamente el 25-30% del consumo energético total puede ser satisfecho por un sistema fotovoltaico sin almacenamiento de energía. Las tecnologías de baterías eléctricas en sistemas fotovoltaicos (PV) son fundamentales para almacenar la energía generada por los paneles solares, permitiendo su uso durante períodos sin sol, como la noche o días nublados. A continuación, se describen las principales tecnologías de baterías utilizadas en estos sistemas:

1. Baterías de Ión de Litio (Li-ion)

- **Descripción:** Utilizan compuestos de litio como material activo en el electrodo.
- **Eficiencia:** Alta eficiencia de carga/descarga (90-95%).
- **Ciclo de Vida:** Largo ciclo de vida (3000-5000 ciclos).
- **Densidad Energética:** Alta densidad energética, lo que permite almacenar más energía en un espacio reducido.

- **Características:** Ligereza, rápida recarga, y baja autodescarga. Sin embargo, pueden ser más costosas que otras tecnologías.
- **Aplicaciones:** Sistemas residenciales, comerciales y a gran escala. Ejemplos incluyen Tesla Powerwall y LG Chem RESU.

2. Baterías de Plomo-Ácido

- **Descripción:** Utilizan plomo y ácido sulfúrico para generar electricidad.
- **Eficiencia:** Menor eficiencia de carga/descarga (70-80%).
- **Ciclo de Vida:** Ciclo de vida más corto (500-1000 ciclos).
- **Densidad Energética:** Menor densidad energética, requieren más espacio para la misma capacidad de almacenamiento que las baterías de litio.
- **Características:** Bajo costo inicial, pero mayor mantenimiento y vida útil limitada. Existen dos tipos principales: baterías de plomo-ácido inundadas y baterías de plomo-ácido selladas (AGM y Gel).
- **Aplicaciones:** Proyectos donde el costo inicial es un factor crítico y se puede manejar el mantenimiento regular, como en sistemas fuera de la red en áreas remotas.

3. Baterías de Ion de Litio-Fosfato (LiFePO4)

- **Descripción:** Variante de las baterías de iones de litio con un cátodo de fosfato de hierro y litio.
- **Eficiencia:** Alta eficiencia de carga/descarga (90-95%).
- **Ciclo de Vida:** Muy largo ciclo de vida (2000-5000 ciclos).
- **Densidad Energética:** Moderada densidad energética.
- **Características:** Mayor seguridad y estabilidad térmica comparada con otras baterías de litio. Menor riesgo de sobrecalentamiento y explosión.
- **Aplicaciones:** Sistemas residenciales y comerciales, especialmente donde la seguridad es una prioridad.

4. Baterías de Níquel-Cadmio (NiCd)

- **Descripción:** Utilizan níquel y cadmio como materiales activos.
- **Eficiencia:** Moderada eficiencia de carga/descarga (70-80%).
- **Ciclo de Vida:** Ciclo de vida largo (1500-2000 ciclos).
- **Densidad Energética:** Moderada densidad energética.
- **Características:** Muy robustas y pueden operar en un amplio rango de temperaturas. Sin embargo, contienen cadmio, que es tóxico y plantea problemas ambientales.
- **Aplicaciones:** Aplicaciones industriales y en lugares con condiciones ambientales extremas.

5. Baterías de Flujo (Vanadio Redox)

- **Descripción:** Utilizan soluciones de vanadio en diferentes estados de oxidación para almacenar energía.
- **Eficiencia:** Moderada eficiencia de carga/descarga (70-80%).
- **Ciclo de Vida:** Muy largo ciclo de vida (más de 10,000 ciclos).
- **Densidad Energética:** Baja densidad energética comparada con baterías de litio.
- **Características:** Capacidad de escalabilidad y longevidad excepcional. El electrolito puede ser reusado, lo que reduce los costos de reemplazo.
- **Aplicaciones:** Grandes instalaciones de almacenamiento de energía a nivel de red y proyectos comerciales.

6. Baterías de Sodio-Azufre (NaS)

- **Descripción:** Utilizan sodio y azufre como materiales activos.
- **Eficiencia:** Alta eficiencia de carga/descarga (85-90%).
- **Ciclo de Vida:** Largo ciclo de vida (2500 ciclos).
- **Densidad Energética:** Alta densidad energética.
- **Características:** Operan a altas temperaturas (300-350°C) y son eficientes para almacenamiento a gran escala, aunque requieren un manejo cuidadoso debido a las temperaturas operativas.
- **Aplicaciones:** Proyectos de almacenamiento a gran escala y aplicaciones industriales.

7. Baterías de Hidrógeno (Celdas de Combustible de Hidrógeno)

- **Descripción:** Almacenan energía en forma de hidrógeno y generan electricidad mediante celdas de combustible.
- **Eficiencia:** Moderada eficiencia de carga/descarga (40-60%).
- **Ciclo de Vida:** Larga vida útil.
- **Densidad Energética:** Alta densidad energética.
- **Características:** Emisiones cero, almacenamiento a largo plazo, pero con costos de infraestructura elevados.
- **Aplicaciones:** Sistemas de almacenamiento a gran escala y aplicaciones donde se requiere almacenamiento prolongado.

Los inversores eléctricos son componentes críticos en las instalaciones fotovoltaicas (PV), ya que convierten la corriente continua (CC) generada por los paneles solares en corriente alterna (CA), que es la forma de electricidad utilizada por la mayoría de los electrodomésticos y sistemas de la red eléctrica. A continuación, se presentan los principales tipos de inversores eléctricos aplicados a instalaciones PV, junto con sus características, ventajas y desventajas:

1. Inversores Centralizados

- **Características:**
 - Un único inversor gestiona la salida de un gran número de paneles solares, agrupados en varias cadenas.
 - Alta eficiencia (95-98%).
 - Capacidad de manejar grandes cantidades de energía.
- **Ventajas:**
 - Menor costo por watt en comparación con otras soluciones.
 - Fácil mantenimiento debido a la centralización de los componentes.
- **Desventajas:**
 - Menos eficiente en la gestión de sombras y variaciones de rendimiento entre los paneles.
 - Si el inversor falla, puede afectar a una gran parte del sistema.
- **Aplicaciones:**
 - Grandes instalaciones comerciales y plantas de energía solar a escala de servicios públicos.

2. Inversores de Cadena (String Inverters)

- **Características:**
 - Cada cadena de paneles solares está conectada a un inversor.
 - Alta eficiencia (95-98%).
- **Ventajas:**
 - Menor costo inicial comparado con los microinversores.
 - Flexibilidad en el diseño del sistema.
- **Desventajas:**
 - Problemas de rendimiento si una parte de la cadena está sombreada o dañada.
 - Menor capacidad de optimización individual de paneles.
- **Aplicaciones:**
 - Sistemas residenciales y comerciales medianos.

3. Microinversores

- **Características:**
 - Un inversor pequeño instalado en cada panel solar.
 - Alta eficiencia (95-99%).
- **Ventajas:**
 - Óptima gestión de sombras y maximización del rendimiento individual de cada panel.
 - Mayor flexibilidad en la expansión del sistema.
- **Desventajas:**
 - Mayor costo inicial.
 - Más componentes que mantener.
- **Aplicaciones:**
 - Sistemas residenciales y comerciales pequeños, especialmente en techos con sombras o orientaciones múltiples.

4. Inversores Multicadena (Multi-String Inverters)

- **Características:**
 - Permiten conectar varias cadenas de paneles solares con diferentes orientaciones y ángulos a un solo inversor.
 - Alta eficiencia (95-98%).
- **Ventajas:**
 - Mayor flexibilidad en el diseño del sistema.
 - Mejor gestión de sombras y variaciones de rendimiento.
- **Desventajas:**
 - Mayor costo comparado con inversores de cadena simples.
- **Aplicaciones:**
 - Sistemas residenciales y comerciales medianos y grandes con configuraciones más complejas.

5. Inversores Híbridos

- **Características:**
 - Gestionan tanto la energía de los paneles solares como de las baterías.
 - Alta eficiencia (90-95%).
- **Ventajas:**
 - Permiten el uso de energía solar almacenada durante la noche o en períodos de baja irradiación solar.
 - Integración con sistemas de baterías.

- **Desventajas:**
 - Mayor costo y complejidad del sistema.
- **Aplicaciones:**
 - Sistemas residenciales y comerciales que incluyen almacenamiento de energía.

6. Inversores de Batería

- **Características:**
 - Diseñados específicamente para gestionar la energía almacenada en las baterías.
 - Alta eficiencia (90-95%).
- **Ventajas:**
 - Permiten la conversión de la energía almacenada en las baterías para su uso en la red eléctrica doméstica o comercial.
- **Desventajas:**
 - Pueden ser más caros que los inversores tradicionales si se usan solo para almacenamiento sin generación solar.
- **Aplicaciones:**
 - Sistemas que requieren gestión de energía de respaldo o almacenamiento.

7. Inversores para Sistemas Aislados (Off-Grid Inverters)

- **Características:**
 - Diseñados para sistemas que no están conectados a la red eléctrica.
 - Alta eficiencia para maximizar el uso de la energía generada.
- **Ventajas:**
 - Permiten la independencia energética total.
 - Pueden integrar generadores de respaldo.
- **Desventajas:**
 - Mayor costo y complejidad en la gestión del sistema.
- **Aplicaciones:**
 - Sistemas en áreas remotas o fuera de la red, viviendas rurales, cabañas, y aplicaciones móviles.

8. Inversores de Red (Grid-Tie Inverters)

- **Características:**
 - Diseñados para sistemas conectados a la red eléctrica.
 - Alta eficiencia (95-98%).

- **Ventajas:**
 - Permiten vender el excedente de energía generada a la red.
 - Sincronización automática con la red eléctrica.
- **Desventajas:**
 - No funcionan en ausencia de la red eléctrica, a menos que estén combinados con un sistema de batería.
- **Aplicaciones:**
 - Sistemas residenciales y comerciales que buscan reducir el consumo de energía de la red y vender el excedente.

9. Inversores de Modo Dual (Dual Mode Inverters)

- **Características:**
 - Pueden operar tanto en modo conectado a la red como en modo aislado.
 - Alta eficiencia en ambos modos (90-95%).
- **Ventajas:**
 - Flexibilidad para funcionar tanto en presencia como en ausencia de la red eléctrica.
 - Capacidad de proporcionar energía de respaldo durante cortes de energía.
- **Desventajas:**
 - Mayor costo y complejidad del sistema.
- **Aplicaciones:**
 - Sistemas que requieren fiabilidad adicional y capacidad de almacenamiento de energía.

3.3 TECNOLOGÍA EÓLICA

Las turbinas eólicas, también conocidas como aerogeneradores, son dispositivos clave en la generación de energía eléctrica renovable a partir del viento. Tal como analizamos en el capítulo anterior algunas Comunidades Energéticas han integrado sistemas de producción de energía eólica desde su desarrollo tecnológico. Principalmente en Alemania se presentan modelos de CEL que han complementado otras producciones de energía con la eólica. En España el desarrollo eólico se ha dado en parques de producción energética a nivel industrial para su comercialización.

Las turbinas eólicas se asientan sobre cimientos robustos y están compuestas por una torre que eleva la góndola, donde se alojan los mecanismos de conversión de energía. Como se puede observar en la figura 35, la góndola es una pieza estructural esencial que contiene los elementos mecánicos y eléctricos. Consta de un rotor, que lo forman las palas y el buje, y está diseñado para capturar eficientemente la energía del viento. Las palas, generalmente tres, son aerodinámicas y fabricadas con materiales ligeros y resistentes.

Estos componentes internos de la góndola se conectan con el eje de baja velocidad, la multiplicadora y el eje de alta velocidad, y trabajan conjuntamente para convertir la energía mecánica del viento en energía eléctrica mediante el generador. Los sistemas de seguridad y control, incluyendo el sistema de frenado y el sistema de orientación, garantizan la operación segura del aerogenerador. Un transformador ajusta la tensión de la energía generada para su distribución en la red eléctrica [6].

Desde el Centro Nacional de Energías Renovables, CENER, se vienen investigando en proyectos como SENDA [7], para la mejora y desarrollo de nuevas tecnologías de control y monitorización en aerogeneradores de gran capacidad (más de 5 MW) y altura (hasta 200 metros). Estos trabajos buscan implementar nuevas estrategias que reduzcan las vibraciones y cargas, y maximizar la vida útil de los aerogeneradores.

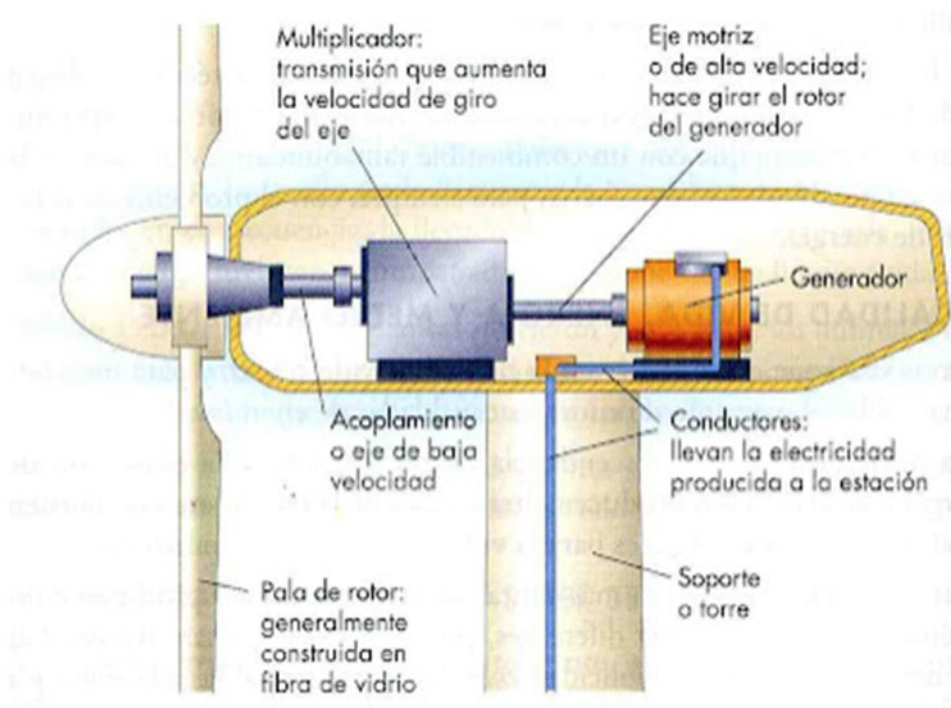


Figura 35: Partes de una turbina eólica. Proyecto SENDA. [7]

Las últimas investigaciones presentadas intentan predecir y detectar las pérdidas aerodinámicas antes de una degradación estructural notable en la pala, dado que puede ser crucial para las estrategias de mantenimiento predictivo operativo para evitar pérdidas significativas en la producción [8].

La energía eólica terrestre es una tecnología madura y probada con una amplia cadena de suministro global. En los últimos años, la energía eólica terrestre ha evolucionado para maximizar la electricidad producida por megavatio instalado, como se ve en la Figura 36, lo que permite aprovechar ubicaciones con velocidades de viento más bajas. Los aerogeneradores se han hecho más grandes, con alturas de buje más elevadas y diámetros de rotor más amplios. Se espera, del mismo modo que la energía

eólica marina crezca rápidamente en los próximos años, ya que la instalación de turbinas en el mar aprovecha vientos más fuertes.

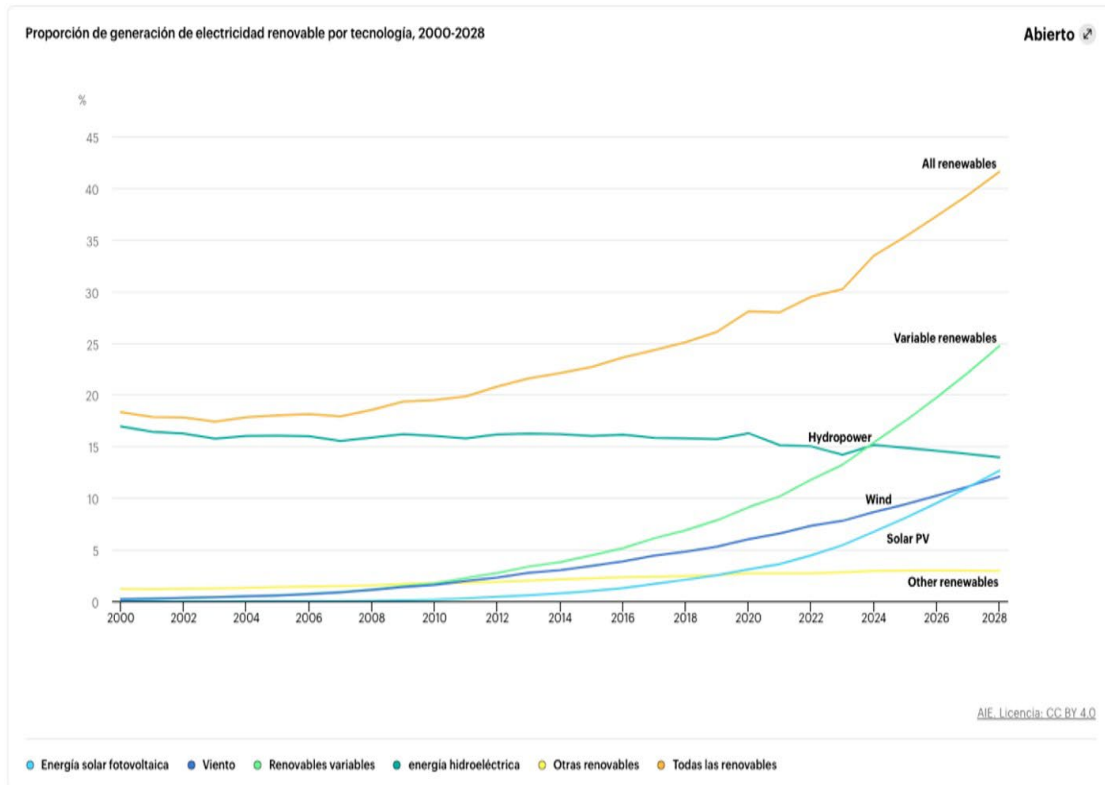


Figura 36: Evolución Fuentes Energía Renovable. [9]

Según la AIE [9] la electricidad renovable alcanzó aproximadamente 507 GW en 2023, casi un 50% más que en 2022, con un apoyo político continuo en más de 130 países que impulsó un cambio significativo en la tendencia de crecimiento global. Esta aceleración mundial en 2023 fue impulsada principalmente por la expansión interanual del floreciente mercado de la energía solar fotovoltaica (+116%) y la eólica (+66%) de la República Popular China. Las adiciones de capacidad de energía renovable seguirán aumentando en los próximos cinco años, y la energía solar fotovoltaica y la eólica representarán un récord del 96% porque sus costos de generación son más bajos que los de las alternativas fósiles y no fósiles en la mayoría de los países.

La energía eólica y solar son las fuentes predominantes de generación de energía en el Escenario de Emisiones Netas Cero para 2050. Sin embargo, las adiciones anuales de capacidad eólica hasta 2030 deben aumentar significativamente para estar en línea con la trayectoria de Emisiones Netas Cero, como vemos en la Figura 37 y 38.

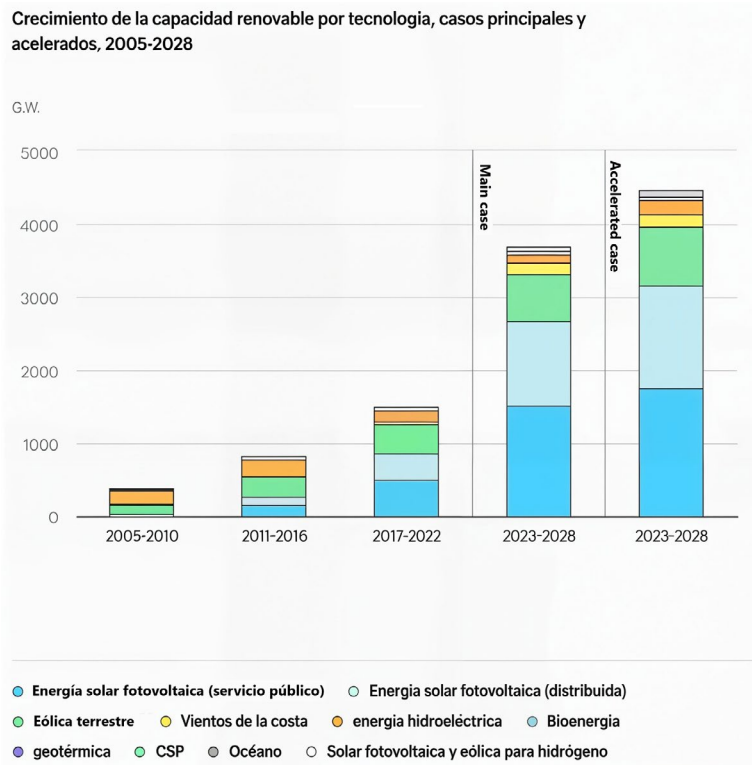


Figura 37: Crecimientos esperados de Fuentes Renovables. [9]

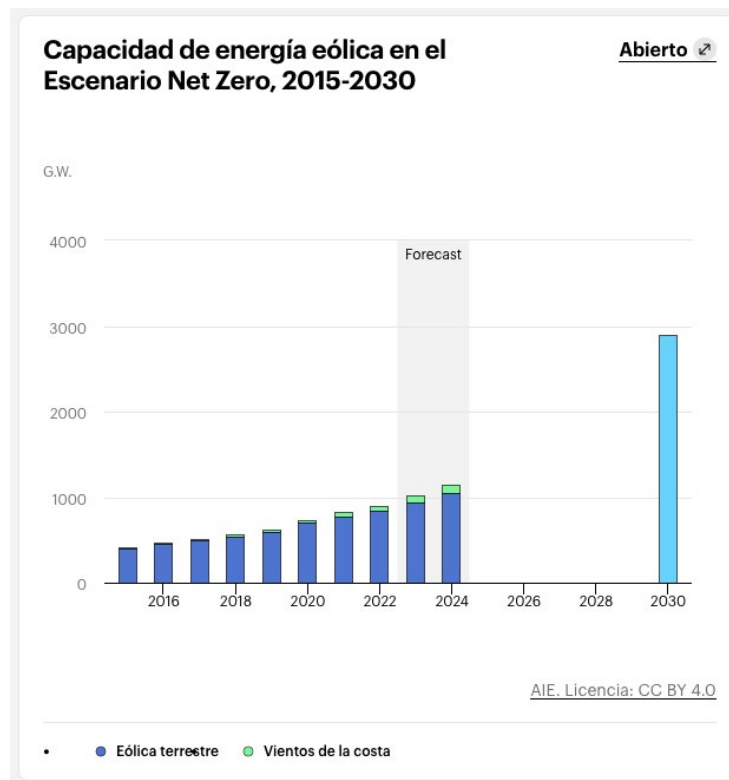


Figura 38: Necesidad de crecimiento en el escenario NET ZERO, 2015 - 2030. [9]

Las **instalaciones eólicas de pequeña potencia** se caracterizan por su eficiencia energética, derivada de la minimización de pérdidas en las redes de transporte y distribución, y su capacidad para integrarse en la infraestructura eléctrica existente sin necesidad de nuevas construcciones. *Estas instalaciones promueven la **participación ciudadana** en la eficiencia energética y la lucha contra el cambio climático*, ofreciendo ventajas significativas como:

- **Generación de energía** cercana a los puntos de consumo.
- **Versatilidad** en aplicaciones y ubicaciones, favoreciendo el autoconsumo y la integración en sistemas híbridos.
- **Accesibilidad tecnológica** y facilidad de instalación.
- Operatividad con **vientos moderados** y adaptabilidad a orografías complejas.
- **Suministro eléctrico** en zonas aisladas.
- **Optimización** de infraestructuras eléctricas de distribución existentes.
- **Bajo coste** operativo y de mantenimiento con alta fiabilidad.
- **Impacto ambiental reducido**, debido a su menor tamaño e integración en entornos habitados.

Algunas investigaciones apuntan a la utilización de **las turbinas eólicas de eje vertical (VAWT)**, por su simplicidad y mejor rendimiento en flujos de viento cambiante, las hacen una opción viable para la generación distribuida de las Comunidades Energéticas en entorno urbanos, comparadas con las pequeñas turbinas de eje horizontal. [10]. Las turbinas eólicas de eje vertical (VAWT) representan una alternativa innovadora en la generación de energía eólica, caracterizándose por la disposición transversal del eje del rotor principal respecto al viento y la ubicación de los componentes principales en la base de la turbina. A diferencia de las turbinas de eje horizontal (HAWT), las VAWT no requieren mecanismos de detección y orientación del viento.

Las **aeroturbinas de pequeña escala** han sido un objetivo desde sus inicios, y técnicamente mantienen una estructura análoga a sus homólogas mayores, pero con un diseño simplificado que permite su manejo por parte de los usuarios finales. En España, estos aerogeneradores se utilizan principalmente para el **autoconsumo en edificaciones aisladas**, frecuentemente en conjunto con **paneles solares fotovoltaicos** en sistemas híbridos que aseguran el suministro eléctrico mediante la combinación de energía solar y eólica, almacenando el excedente en baterías.

Es realmente interesante la implementación de un sistema de etiquetado para aerogeneradores de pequeña potencia en España. La etiqueta es aplicable a aerogeneradores que cumplan con la norma UNE-EN 61400-2:2015 o su última edición, así como aquellos que se ajusten a la norma UNE-EN 61400-1 con una potencia máxima de 100 kW.

Este sistema busca proporcionar información estandarizada y fiable a los consumidores, y especialmente a las CEL, permitiendo una comparación objetiva entre diferentes productos y facilitando la toma de decisiones informadas.

3.4 TECNOLOGÍA HIDRAÚLICA

Según los datos facilitados por el IDAE [11], las minicentrales con una potencia instalada inferior a 10 MW, son claves en la generación de energía limpia y autóctona en España. La Comunidad Energética más antigua de España, Cooperativa Enrgética de Crevillent, cuenta desde hace décadas con una minicentral dentro de sus activos energéticos. No obstante, y a pesar que en distintas zonas de España, principalmente en el Pirineo, muchas de estas minicentrales estaban gestionadas por municipios o entidades locales, las grandes empresas energéticas asumieron su gestión debido a sus inconvenientes de administración y mantenimiento. Hoy en día muchas de estas minicentrales están en el punto de mira de las CEL.

La expansión de la energía renovable en 2023 se concentró en diez países, responsables del 80% de las nuevas adiciones globales. Según la AIE. La capacidad global de hidroelectricidad aumentará un 17%, o 230 GW, entre 2021 y 2030. Figura 39.

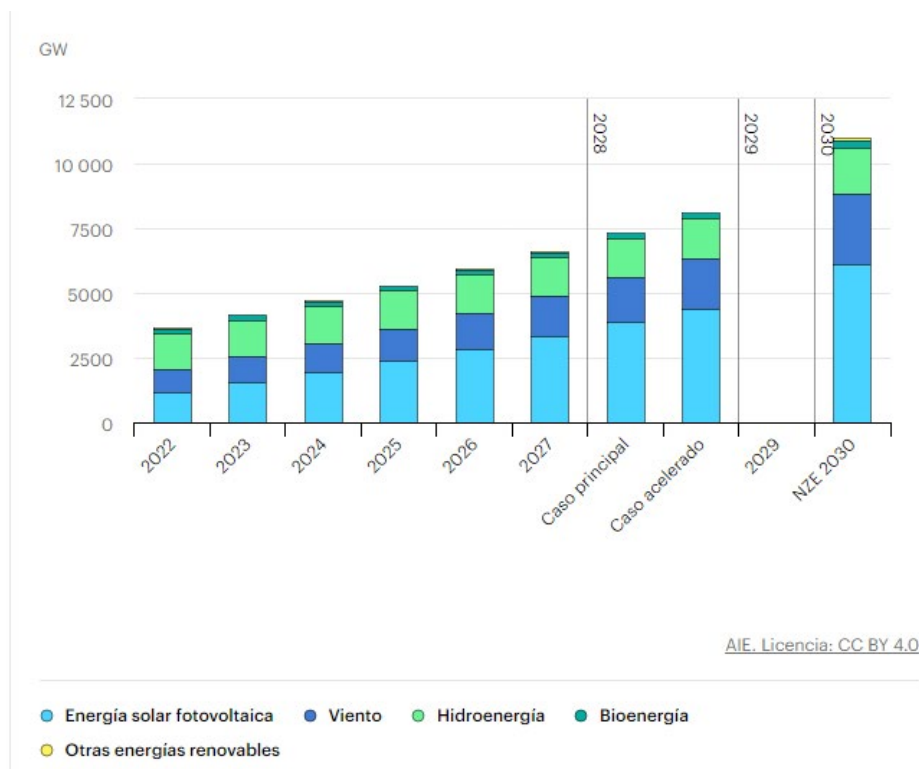


Figura 39: Capacidad eléctrica renovable acumulada casos principal y acelerado en Net Zero. [9]

La generación de hidroelectricidad aumentó casi 70 TWh en 2022, alcanzando 4.300 TWh, con estos datos podemos afirmar que la hidroelectricidad sigue siendo la mayor fuente de electricidad renovable, generando más que todas las demás tecnologías renovables combinadas. Se requieren esfuerzos significativamente más fuertes para alcanzar alrededor de 5.500 TWh de generación anual de electricidad para 2030.

Se clasifican en turbinas de acción y de reacción, con diferentes aplicaciones y son muchos los estudios e investigaciones que pueden ayudar a determinar el uso de unas u otras [12, 13].

Según el tipo de salto y caudal de agua se dispone de turbinas de Acción, como la turbina Pelton para saltos elevados y poco caudal, y la turbina de flujo cruzado para un amplio rango de saltos y caudales. Ambas tienen altos rendimientos y son adecuadas para operar con carga parcial. Así como las turbinas de Reacción, Como las turbinas Francis y Kaplan, se adaptan a diversos saltos y caudales, con rendimientos superiores al 90% en condiciones óptimas y permiten variaciones significativas en caudales y saltos. Figura 40.

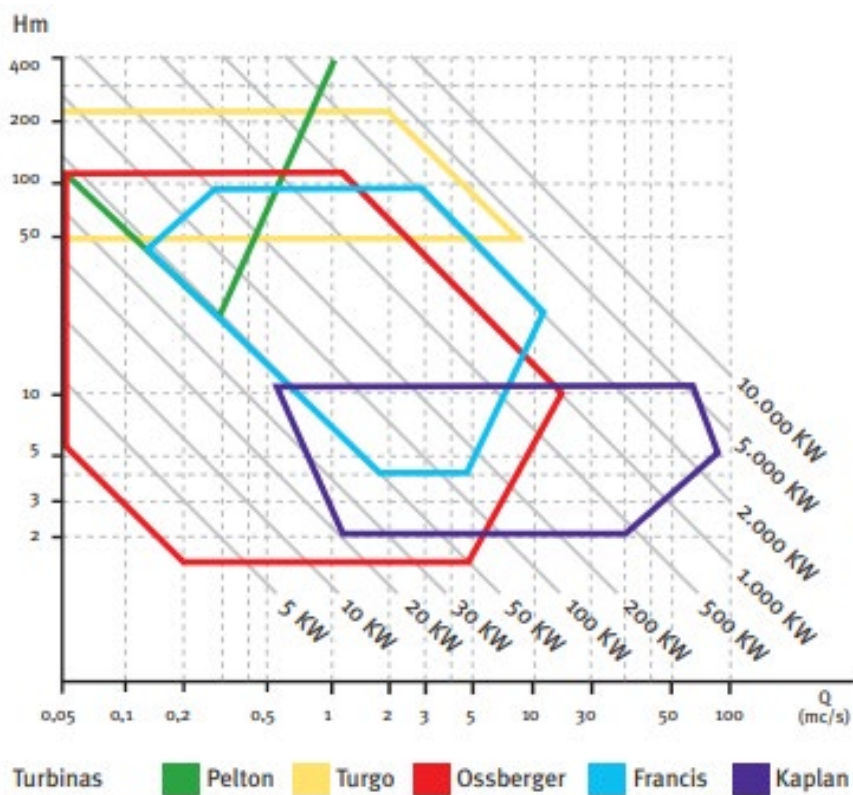


Figura 40: Campo de utilización de los diferentes tipos de turbinas. [11]

El factor de eficiencia e es el producto de los rendimientos de la turbina R_t , el generador R_g , y el transformador de salida R_s , expresado como:

$$e = R_t * R_g * R_s$$

Para una minicentral hidroeléctrica moderna, se puede asumir un valor de eficiencia de 0.85 como aproximación inicial.

3.5 TECNOLOGÍA BIOMASA

Una de las aplicaciones de la biomasa en sistemas de calefacción y climatización centralizada en una CEL, son los “district heating” (DH), Elimino párrafo. La biomasa permite la generación de energía térmica para sistemas de climatización centralizados a través de redes de tuberías que sirven a múltiples usuarios, implementando redes de distribución térmica para abastecer a urbanizaciones, edificios públicos e industrias, y transportando energía térmica a distancia. Esta tecnología permite la producción y suministro centralizados de calefacción y ACS, permitiendo a cada usuario control independiente del acondicionamiento térmico, figura 41.

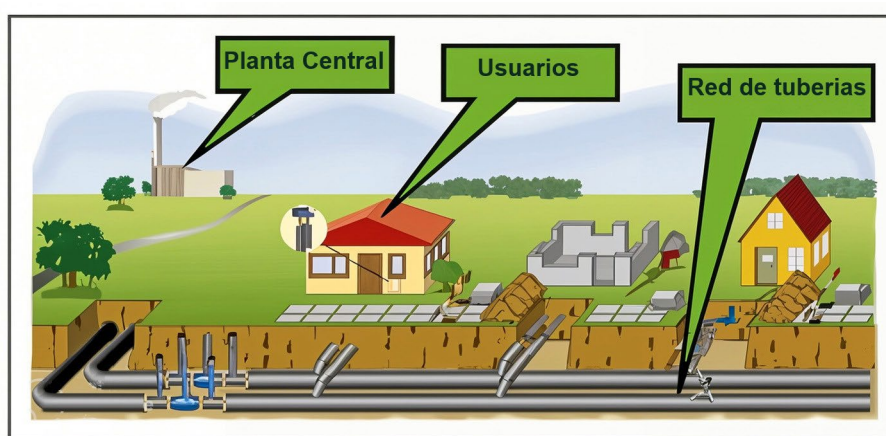


Figura 41: Esquema básico de red térmica DH. [15]

En la década de los años 70 las primeras comunidades energéticas que se fundaron en Alemania, pueblos verdes, tuvieron como base la utilización de redes de calor DH basadas en el uso de la biomasa [14].

Esta fuente energética debe presentar las mejores condiciones de producción y control de emisiones de partículas inhalables menores de 10 micrones (PM10), por sus efectos adversos en la salud humana.

En el contexto de las comunidades energéticas, la generación de electricidad a partir de biomasa se presenta como una solución sostenible y eficiente. Este proceso no solo contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, GEI sino que también promueve la autosuficiencia energética a nivel local [15].

Otra aplicación de la biomasa es utilizar la **trigeneración** que permite una generación de electricidad, calor y frío. Este proceso consiste en transformar la biomasa en un gas combustible, que posteriormente alimenta un motor térmico acoplado a un generador eléctrico responsable de la producción de electricidad. Además de la generación de electricidad, los gases de escape y el agua de refrigeración

del motor se aprovechan mediante intercambiadores de calor. Este aprovechamiento permite la producción de ACS, calefacción y, mediante máquinas de absorción, la producción de frío. Este enfoque integral maximiza la eficiencia energética del sistema y reduce el desperdicio de energía, figura 42.

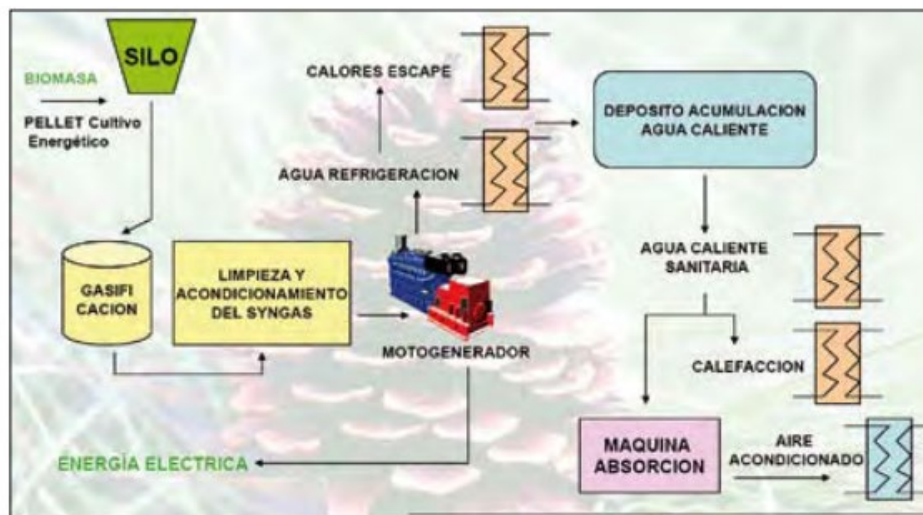


Figura 42: Esquema básico de una central de trigeneración. [15]

3.6 TECNOLOGÍA BIOCOMBUSTIBLES Y BIOGÁS

El pasado 24 de Junio de 2024, bajo el título de “Bioenergy, biogas and biofuels: Research and innovation gaps in the European Union”, [16] la Alianza Europea EERA Bioenergy, presentó el informe que actualiza la Agenda Estratégica de Investigación e Innovación de 2019 y responde a los desafíos climáticos y energéticos actuales. En este informe se destaca la necesidad de impulsar la I+D+i en estas áreas para aumentar la competitividad y sostenibilidad de las soluciones biocirculares, esenciales para la transición ecológica. Además, se abordan aspectos de sostenibilidad, económicos y sociales, enfatizando la necesidad de un sistema más resiliente y la importancia de la aceptación social y la participación de las comunidades locales en el desarrollo de proyectos bioenergéticos. El informe concluye con recomendaciones para políticas y estrategias de financiación que fomenten la colaboración entre sectores y la integración de tecnologías innovadoras en las comunidades energéticas.

Los biocombustibles son combustibles líquidos o gaseosos producidos a partir de biomasa, que incluye productos agrícolas, residuos de la silvicultura, y residuos industriales y municipales. Los biocombustibles más comunes son el bioetanol, biodiésel e hidrobiodiésel. Otros como el biogás y biocombustibles sintéticos están emergiendo [17]. Principalmente utilizados en el transporte por carretera y aviación. El contenido energético varía según el tipo de biocombustible. El uso de biocombustibles reduce las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con los combustibles fósiles, con variaciones según el proceso de producción [18].

Según la guía del Centro Nacional de Energías Renovables, el TRL, índice que evalúa la madurez de una tecnología desde el concepto (TRL 1-2) hasta la comercialización (TRL 9); la mayoría de las tecnologías de biocombustibles avanzados están en niveles TRL 4-7 [19]. Solo la producción de biometano y etanol avanzado ha alcanzado niveles comerciales (TRL 8-9). Otras tecnologías aún necesitan avanzar significativamente. Figura 44.

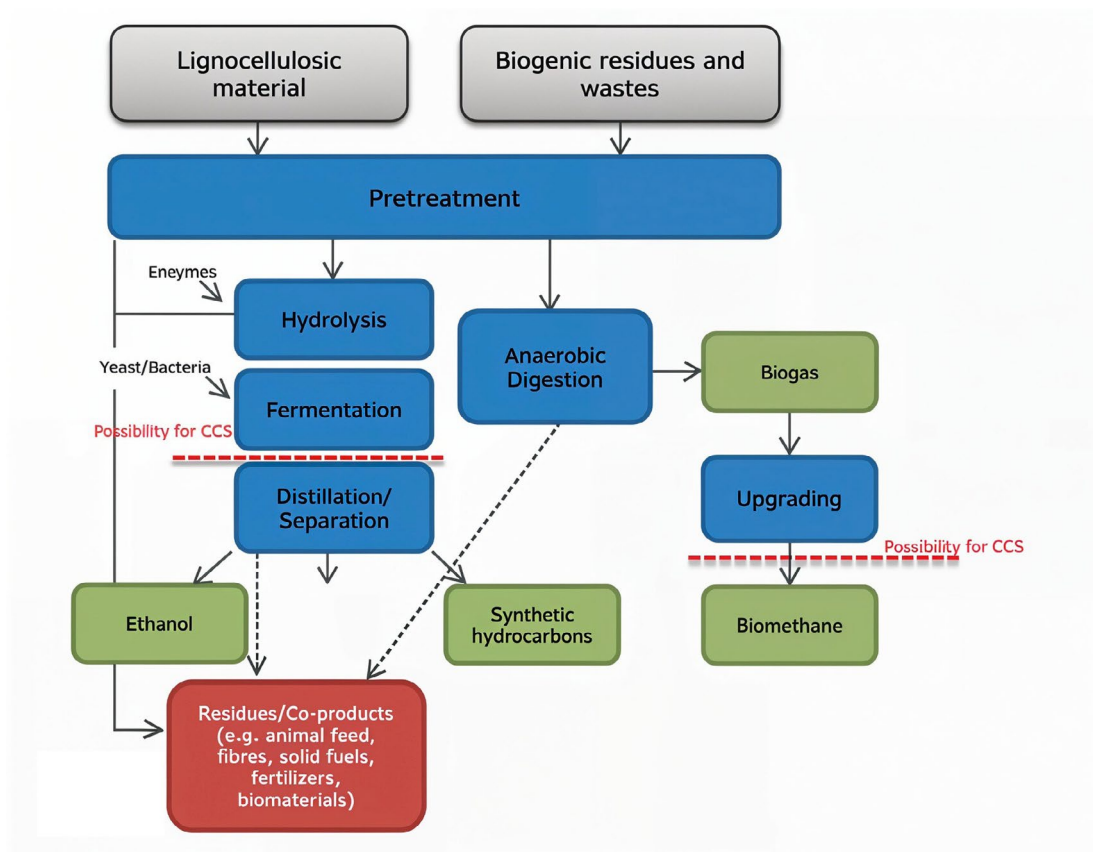


Figura 43: Diagrama del proceso simplificado para la producción de biocombustibles avanzados por vía bioquímica. [19]

Las plantas de biogás y biocombustibles pueden ser factores importantes en el ámbito rural, y favorecer la transición energética. Contamos con ejemplos prácticos en comunidades energéticas, como son las Aldeas Bioenergéticas en Alemania, como modelos de producción energética eficiente y baja en carbono.

Las Aldeas Bioenergéticas, según el Instituto de Bio-Energy Villages de Göttingen, son comunidades energéticas que generan parte de su electricidad y calefacción a partir de biomasa local, utilizando estrategias de cogeneración para maximizar la eficiencia energética. Un ejemplo destacado es el pueblo de Jündhe [20], en Baja Sajonia, que desde 2005 ha reemplazado combustibles fósiles con desechos agrícolas y estiércol, convirtiéndolos en bioenergía mediante una planta de biogás.

Los factores clave para el éxito de estos proyectos incluyen la toma de decisiones comunitaria, el uso de recursos locales y la inversión rentable. La organización en cooperativas ha permitido a los habitantes gestionar eficazmente los proyectos, adaptando la producción energética a los recursos regionales y generando ingresos adicionales.

Otro ejemplo es la aldea de Mauenheim en Baden-Württemberg, figura que utiliza biogás, energía solar y calefacción con astillas de madera para abastecer a 400 habitantes y 150 edificios. Estas iniciativas no solo crean empleo sostenible, sino que también fortalecen la cadena de valor regional y fomentan un sentido de pertenencia entre [21] los residentes.



Figura 44: Vista general del emplazamiento de la central eléctrica de la aldea bioenergética de Mauenheim. [21]

3.7 TECNOLOGÍA GEOTERMIA

El informe de IEA Geothermal [22] destaca el trabajo y los logros de 2022, con 15 miembros participantes, incluidos 13 países, la Comisión Europea y GEOPLAT. Este grupo promueve el uso sostenible de la energía geotérmica, que se utiliza globalmente en aplicaciones de uso directo como la calefacción y refrigeración de espacios, la calefacción de invernaderos, la acuicultura, los baños, las redes térmicas urbanas, los sistemas de almacenamiento de energía térmica subterránea y los usos industriales. En regiones con condiciones adecuadas, también se utiliza para generar electricidad. También se están desarrollando sistemas de almacenamiento térmico subterráneo para almacenar y recuperar energía según sea necesario [23].

En el norte de Europa las Comunidades Locales han utilizado la geotermia como fuentes de calor. Un ejemplo actual es la reciente creación por parte de cuatro municipios del norte de Madrid [24], (Alcobendas, San Sebastián de los Reyes, Colmenar Viejo y Tres Cantos) creando una Comunidad Energética para fomentar el uso de la energía solar y geotérmica. Esta iniciativa, liderada por la Asociación para el Fomento de las Comunidades Energéticas (AFCE), busca retomar un proyecto de red de calefacción geotérmica frustrado en los años ochenta y aprovechar el actual respaldo político y económico a las energías renovables.

La asociación, sin ánimo de lucro y sin implicación política, se centra en dos tareas principales: reducir la dependencia de las energías fósiles y democratizar las decisiones energéticas, desmantelando las estructuras energéticas feudales existentes.

El aumento de la capacidad mundial de energía geotérmica ha mostrado un crecimiento significativo en las últimas dos décadas. Desde el año 2000 hasta el 2020, la capacidad instalada se ha duplicado, alcanzando aproximadamente 15.96 gigavatios eléctricos (GW e) en 2021 [25], figura 45.

Increase of world geothermal power capacity (MW)

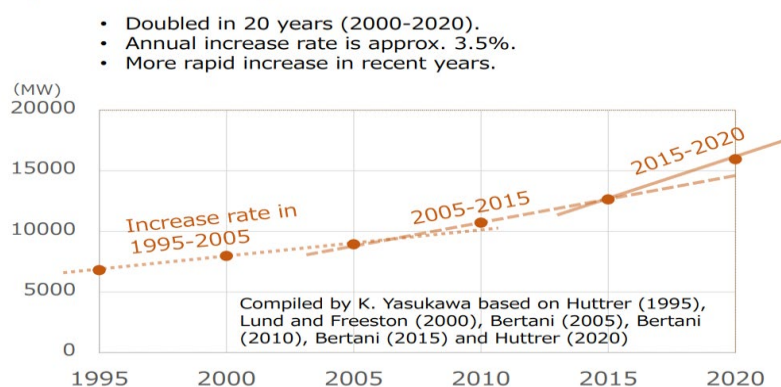


Figura 45: Gráfica de la presentación de IEA sobre el incremento de la Geotermia a nivel mundial. [22]

3.8 TECNOLOGÍA DEL HIDRÓGENO VERDE

El hidrógeno verde se produce mediante un proceso llamado **electrólisis**, figura 46, que utiliza electricidad para dividir las moléculas de agua (H_2O) en hidrógeno (H_2) y oxígeno (O_2). El hidrógeno se recoge en el cátodo y el oxígeno en el ánodo. El hidrógeno producido es puro y puede ser utilizado como combustible limpio. La clave para que el hidrógeno sea “verde” es que la electricidad utilizada en este proceso provenga de fuentes renovables, como la energía solar o eólica.

Los **electrolizadores alcalinos** son muy comunes debido a su rentabilidad económica y madurez tecnológica. En ellos, el manejo de los iones se produce en una solución potasa cáustica alcalina. Sin embargo, esta tecnología tiene una baja densidad de corriente, lo que significa que se produce menos hidrógeno por unidad de volumen del equipo. Además, la elaboración de hidrógeno está condicionada por un campo de maniobra limitado desde el 20% hasta 100% del funcionamiento nominativo del mismo [26].

Los **electrolizadores de membrana de intercambio aniónico** (AEM) son similares a los electrolizadores alcalinos, pero utilizan una membrana de intercambio aniónico en lugar de una solución alcalina. Aunque todavía se encuentra en fase de investigación, la electrólisis AEM es una opción menos costosa que la electrólisis de membrana polimérica protónica o PEM. Esto es porque la membrana de esta metodología no tiene la necesidad de depender de metales preciosos que actúen como motores metálicos no nobles en su proceso de elaboración. Adicionalmente, este proceso es profundamente constante y equilibrado en la obtención de hidrógeno [26].

Los **electrolizadores de óxido sólido** (SOEC) son una tecnología que se encuentra en una etapa menos avanzada (Archivos del electrolizador de óxido sólido, 2023). Utilizan electrolitos cerámicos que son más baratos de producir y son altamente eficientes en términos energéticos, aunque se requieren temperaturas muy altas, por encima de 700° C, para lograrlo. En contraste con las tecnologías previas, esta permite la transformación eléctrica del hidrógeno a través de dispositivos.

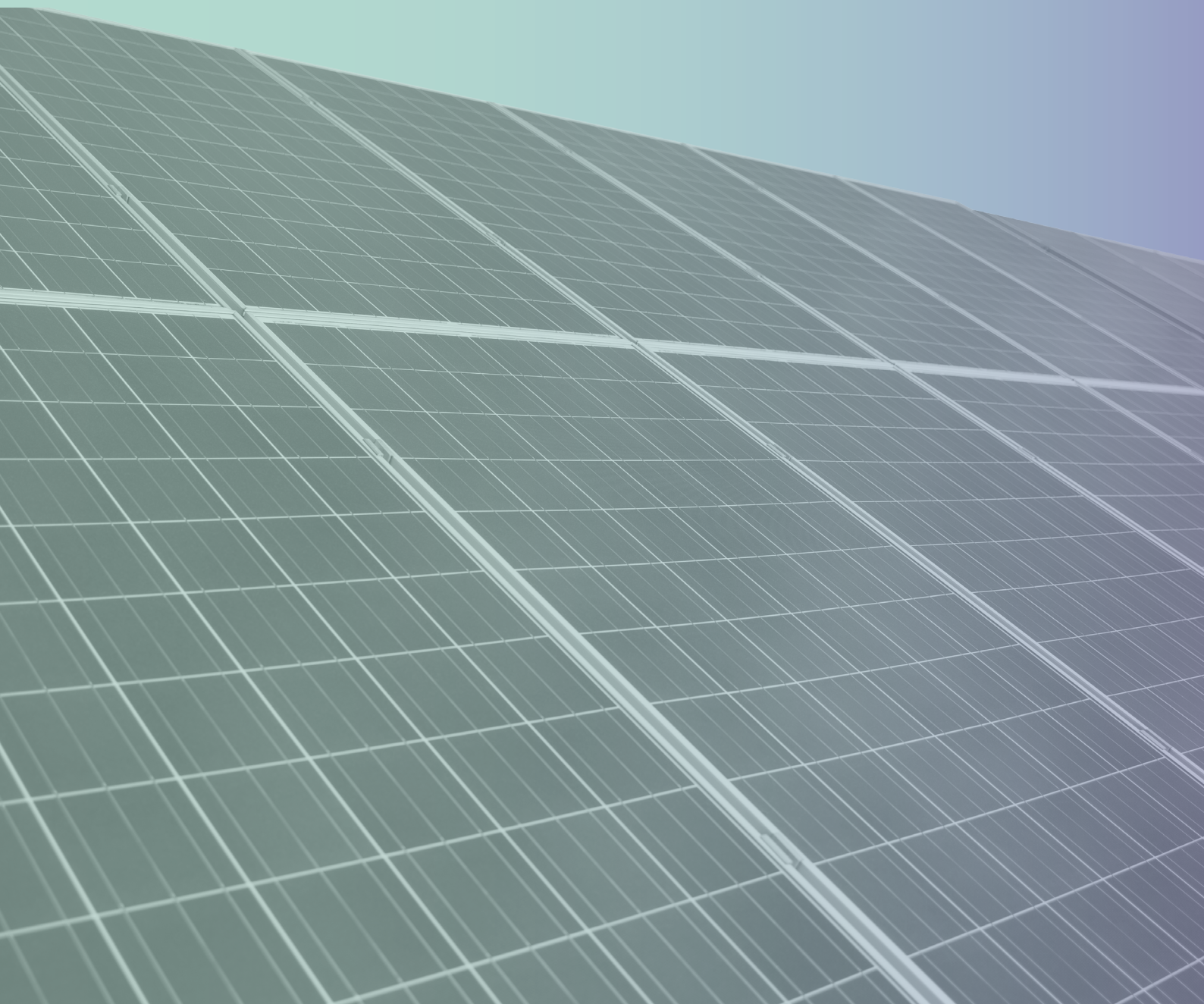
REFERENCIAS

1. Informe Wind Europe 2023 Maximising the power of wind through grid flexibility. WindEurope-Maximising-the-power-of-wind-through-grid-flexibility.pdf
2. Directiva 2023/2413 https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=OJ:L_202302413
3. Marina Hernández J. 2015 . Instalación solar térmica para producción de agua caliente sanitaria en un edificio de viviendas
4. Guía de Energía Solar Térmica del IDAE, https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/guiasolartermica_idae-asit_v3.0_20210111_nipo.pdf
5. IDAE, Energía Fotovoltaica. <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-electrico/solar-fotovoltaica>
6. Martínez Cámara, E. 2009, Análisis del ciclo de vida y aportaciones a la metodología del ACV para sistemas de generación eólica.
7. SENDA: Desarrollo de tecnologías inteligentes para Sistemas Eólicos De gran Altura - CENER - Centro Nacional de Energías Renovables; <https://www.cener.com/portfolio-item/sendas-desarrollo-de-tecnologias-inteligentes-para-sistemas-eolicos-de-gran-altura/>
8. Özge Sinem Özçakmak et al 2024 J. Phys.: Conf. Ser. 2767 022066
9. IEA (2024), Renewables 2023 , IEA, París <https://www.iea.org/reports/renewables-2023>, Licencia: CC BY 4.0
10. Longo, Riccardo; Nicastro, Patricia; Natalini, Matteo; Schito, Paolo; Mereu, Riccardo; ↑ Parente, Alessandro (agosto de

- 2020). "Impacto del entorno urbano en el rendimiento de las turbinas eólicas Savonius: una perspectiva numérica
11. Guía IDAE, Minicentrales hidráulicas, https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/10374_minicentrales_hidroelectricas_a2006.pdf
 12. Vargas, F. E. S., Alarcón, A. F. S., & Fajardo, C. A. G. (2011). Pequeñas y microcentrales hidroeléctricas: alternativa real de generación eléctrica. *Informador Técnico/Informador Técnico*, 75. <https://doi.org/10.23850/22565035.22>
 13. A. A. Williams, "Pumps as turbines for low cost micro hydro power," *Renewable Energy*, vol. 9, no. 1-4 SPEC. ISS., pp. 1227-1234, 1996
 14. Schmid, E., Knopf, B., y Pechan, A. (2016). Putting an energy system transformation into practice: The case of the German Energiewende. *Energy Research & Social Science*
 15. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2008). Biomasa para climatización. https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/documentos_10980_biomasa_climatizacion_a2008_a_598d1ce7.pdf
 16. EERA Bioenergy. (2024). Bioenergy Research, Development and Innovation (RDI) Gaps 2024. <https://www.eera-bioenergy.eu/wp-content/uploads/2024/06/EERA-Bioenergy-RDI-Gaps-2024.pdf>
 17. Schnülle, C., Von Gleich, A., Gößling-Reise mann, S., Kisjes, K., Nikolic, I., Stührmann, T., & Thier, P. (2016). Optionen für die Integration von Power-to-Fuel in den Energiewendeprozess aus einer sozioökonomischen Perspektive. *Vierteljahrshefte Zur Wirtschaftsforschung*, 85(4), 53-74. <https://doi.org/10.3790/vjh.85.4.53>
 18. Ghatak, H. R. (2023). Recent advancements in biofuels production and applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 168, 112861
 19. I. del Campo Colmenar, R. Pérez-Vega, & J. Gil Barnó. (2021, Mayo). Estado de desarrollo, mercado y potencial de los biocombustibles avanzados en España. *Industria Química*, 66, 67-78. Recuperado de <https://www.bio2c.es/wp-content/uploads/2021/06/Articulo-CENER-en-INDUSTRIA-QUIMICA.pdf>
 20. bioenergiedorf.info. (n.d.). Bioenergiedörfer. [<https://www.bioenergiedorf.info/>]
 21. Energieatlas Baden-Württemberg. (n.d.). Recuperado de <https://www.energieatlas-bw.de>
 22. IEA Geothermal | Annual Reports - International Energy Agency geothermal (iea-gia.org)
 23. García Alonso, J. M., Montero García, E., M'Hamdi Alaoui, F. E., & Aguilar Romero, F. (2013). Prototipo para ensayo de bomba de calor geotérmica acoplada con almacenamiento de energía mediante materiales de cambio de fase. En E. Montero García (Coord.), VIII Congreso Nacional de Ingeniería Termodinámica (pp. 55-62)
 24. Geotermiaonline.com. (n.d.). Tres municipios del norte de Madrid crean una comunidad energética para solar y geotermia. Recuperado de <https://geotermiaonline.com/13452/tres-municipios-del-norte-de-madrid-crean-una-comunidad-energetica-para-solar-y-geotermia/>
 25. International Energy Agency - Geothermal Implementing Agreement (IEA-GIA). (n.d.). IEA geothermal webinar presentations. Recuperado de <https://iea-gia.org/publications-2/iea-geothermal-webinar-presentations/>
 26. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (n.d.). Estrategia nacional de hidrógeno. <https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/hidrogeno.html>
 27. International Renewable Energy Agency <https://www.irena.org/publications/2022/Apr/Renewable-Capacity-Statistics-2022-ES>



TECNOLOGÍAS HABILITADORAS



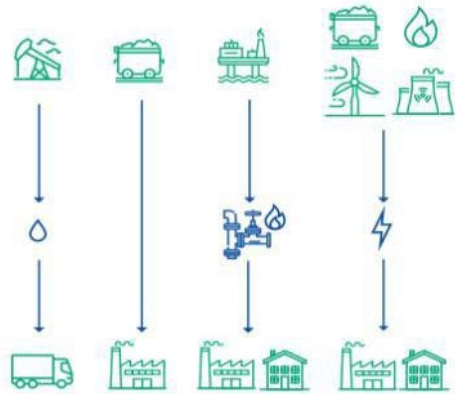
4. TECNOLOGÍAS TIC. DIGITALIZACIÓN DE LAS CEL. SMART GRIDS Y SMART CITY

4.1 INTRODUCCIÓN

La Estrategia de Integración del Sistema Energético (Comisión Europea, 2020) se centra en una mayor electrificación directa de los usuarios finales de electricidad. Se prevé que la demanda de electricidad aumente hasta conseguir el objetivo de la neutralidad climática en la EU 2050, y que la proporción de electricidad en el consumo final de energía crezca del 23% actual a alrededor del 50% en 2050, según determinados escenarios. En esta transición energética, se avanzará desde un sistema lineal a uno de integración. Esto quiere decir la combinación de diferentes vectores energéticos (electricidad, frío, calor, gas, etc.) entre sí y con los consumidores finales (transporte, industria, edificación). Esto permite optimizar el sistema energético en su conjunto, para lo cual será necesario incluir y desarrollar tecnologías, modelos de negocio, digitalización, tecnologías TIC, redes inteligentes, contadores inteligentes, y mercados de flexibilidad. Figura 46.

The energy system today :

linear and wasteful flows of energy,
in one direction only

**Future EU integrated energy system :**

energy flows between users and producers,
reducing wasted resources and money

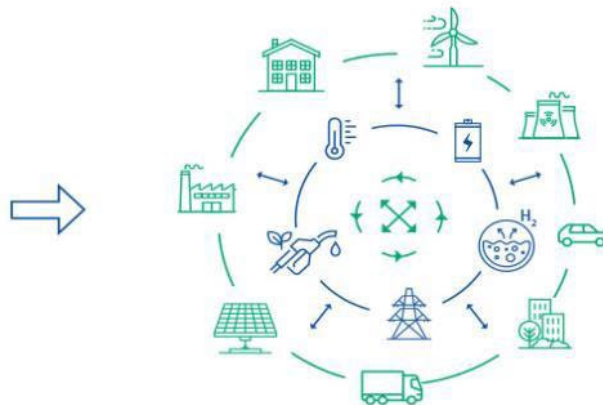


Figura 46: Sistema energético actual y futuro en la EU. [5]

La transición hacia modelos energéticos innovadores y sostenibles es intrínsecamente dependiente de la adopción y el desarrollo de tecnologías habilitadoras. Estas tecnologías, que constituyen la base de los avances detallados en el Capítulo 3, son el motor que impulsa la digitalización y la implementación de comunidades energéticas inteligentes (Smart communities).

4.2 DIGITALIZACIÓN Y TIC EN LA EVOLUCIÓN DE LAS CEL

La digitalización, apoyada por las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), es un factor clave en la extensión e implantación de nuevos modelos de energía. Las TIC facilitan la gestión y el análisis de grandes volúmenes de datos, lo que es esencial para la optimización de los recursos energéticos. Dentro de este contexto, se destacan las siguientes tecnologías:

1. **Data Science, Big Data y Plataformas de Gestión de Datos:** Herramientas fundamentales para el análisis y la interpretación de datos, permitiendo una toma de decisiones informada y eficiente en la gestión energética.
2. **Contadores Inteligentes:** Estos dispositivos son la principal fuente de datos para la toma de decisiones energéticas, ya que facilitan la comunicación bidireccional entre el consumidor y el gestor de la red de suministro.
3. **Sensóres / Internet de las Cosas (IoT):** La conectividad entre dispositivos permite recopilar información en tiempo real, que es esencial para la retroalimentación y la toma de decisiones automatizada en el sistema energético.

4. **Tecnologías Avanzadas de Gestión de la Demanda Residencial:** La participación activa por parte del consumidor en la gestión de la demanda es posible gracias a tecnologías como los agregadores de demanda, las CEL y las Plantas de Energía Virtuales (VPP).
5. **Blockchain:** Esta tecnología ofrece un modelo descentralizado y seguro para la transacción y distribución de energía dentro de las CEL, como se ha demostrado en proyectos pioneros en Holanda y Estados Unidos.

A nivel de España, CENER desarrolló el sistema BlockChainim (1) en la Garantía de Origen de la Energía, GNERA. Figura 47.

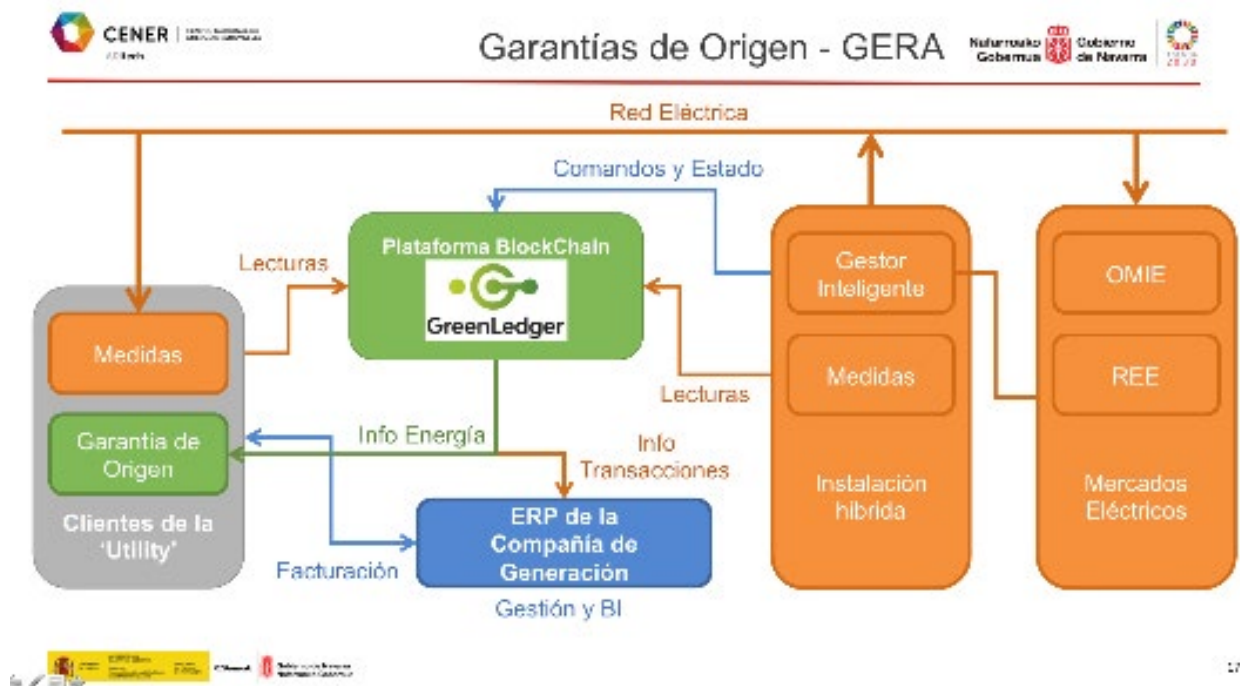


Figura 47: Sistema GNERA con utilización de BlockChainim. (1)

Las **Comunidades Energéticas Locales (CEL)** y las **Comunidades Ciudadanas de Energía (CCE)** desempeñan un papel crucial en la nueva gestión energética. Estas comunidades están involucradas en actividades como la producción, venta, almacenamiento y distribución de energía. La segregación y la prestación de servicios de recarga y eficiencia energética son reconocidas y fomentadas dentro de estas estructuras.

En este esquema de trabajo, las CEL se posicionan como agentes fundamentales, no solo en la generación y distribución de energía, sino también en la promoción de la sostenibilidad y la eficiencia energética. La Directiva de Mercado Interior contempla la participación de estas comunidades en el mercado de distribución, aunque no impone una forma específica de participación.

Las comunidades energéticas emergen como agentes transformadores en el panorama energético actual, desempeñando un rol crucial en los ejes de producción, almacenamiento y consumo de energía. La implementación de estrategias de gestión de la demanda se presenta como una medida esencial para influir en los patrones de consumo energético, con el objetivo de optimizar el perfil de consumo y alcanzar una mayor eficiencia energética.



Figura 48: Sistema EMS desarrollado por CENER. [2]

En la figura 48 se presenta un sistema de Energy Management System EMS, desarrollado por CENER. Este sistema actúa como un integrador de activos energéticos, incluyendo generadores, puntos de consumo y sistemas de almacenamiento, y está diseñado para facilitar una gestión energética eficaz y sostenible de una Comunidad energética local CEL [2].

La fortaleza de la CEL reside en su plataforma tecnológica de gestión energética, que permite la monitorización integral de las instalaciones energéticas bajo su titularidad. Esta plataforma avanza en la implementación de soluciones innovadoras para la gestión y agregación de la demanda, adaptándose a las necesidades de las instalaciones fotovoltaicas, puntos de recarga y otros sistemas que se integren progresivamente.

El **Sistema de Gestión Energética** está especialmente diseñado para proporcionar a los miembros de la comunidad, información detallada y servicios de gestión energética y de la demanda. La plataforma software se comunica con dispositivos de hardware dedicados a la comunicación, control y medición,

así como con diversas fuentes externas de datos, incluyendo información meteorológica, precios de energía y plataformas de terceros, como los sistemas de las comercializadoras de electricidad.

A través de una aplicación móvil, los socios de la CEL tendrán acceso a una **Interfaz de Usuario y Monitoreo en Tiempo Real**, que les permitirá:

- **Monitorear la Producción Fotovoltaica:** Visualizar en tiempo real y de forma gráfica la energía fotovoltaica asignada a su consumo.
- **Analizar el Consumo Eléctrico:** Examinar su consumo eléctrico con una integración horaria y compararlo con el de otros miembros de la comunidad.
- **Evaluar el Autoconsumo:** Determinar el porcentaje horario de autoconsumo y compararlo con el promedio de la comunidad.
- **Estimar el Coste Asociado:** Calcular el coste asociado a su consumo de energía eléctrica con una desagregación horaria.

4.3 SMART GRIDS

El término smart grid se traduce del inglés como “red inteligente” y surge de la integración de la ingeniería eléctrica con las Tecnologías de la Información y la Comunicación, TIC’s. Podemos definirlo como un sistema de redes de distribución eléctrica que integra la tecnología digital para abastecer la demanda existente con la máxima eficiencia energética. Una de las principales diferencias de las redes inteligentes respecto a la red eléctrica tradicional es que el sistema smart grid es bidireccional, es decir, transmite la electricidad en ambos sentidos. De esta manera, tanto los hogares como los negocios pueden ser consumidores y también convertirse en pequeños productores de electricidad. Estas redes eléctricas inteligentes incorporan un sistema informático que permite responder a las fluctuaciones de la producción de energía y de la demanda de ese momento. Gracias a la información obtenida sobre el consumo de energía, el usuario puede tener una participación activa y monitorizar el comportamiento eléctrico de cada aparato que esté conectado a la red eléctrica.

Las smart grid son un concepto estratégico clave en la transición energética, ya que suponen un gran paso hacia una transición eléctrica mediante el uso de sistemas renovables que nos permitan una mayor descarbonización.

Una **Smart Grid**, o red eléctrica inteligente, es una modernización de la red eléctrica tradicional que utiliza tecnología digital para monitorear y gestionar el flujo de electricidad desde todas las fuentes de generación hasta los consumidores [3].

Las Smart Grids integran diversas tecnologías avanzadas de comunicación y control para mejorar la eficiencia, la fiabilidad, la economía y la sostenibilidad del suministro de electricidad. [4]. Las características clave de una Smart Grid incluyen:

- **Comunicación Bidireccional:** Permite la comunicación en tiempo real entre proveedores de electricidad y consumidores.
- **Medición Inteligente:** Uso de medidores inteligentes que proporcionan datos detallados sobre el consumo de energía.
- **Automatización y Control:** Sistemas automatizados que pueden detectar y responder a problemas de la red en tiempo real.
- **Integración de Energías Renovables:** Facilita la incorporación de fuentes de energía renovable como la solar y la eólica.
- **Gestión de la Demanda:** Herramientas para equilibrar la oferta y la demanda de electricidad de manera eficiente.

La Unión Europea ha sido pionera en la adopción e implementación de tecnologías de Smart Grid. Algunos aspectos destacados de su aplicación incluyen:

1. Iniciativas y Proyectos:

- **Horizon 2020:** Este programa de investigación e innovación de la UE ha financiado numerosos proyectos relacionados con Smart Grids.
- **European Green Deal:** Promueve la integración de energías renovables y la digitalización de la red eléctrica como parte de sus objetivos de neutralidad climática.

2. Regulación y Políticas:

- **Third Energy Package:** Conjunto de directivas que establecen un marco regulatorio para la creación de un mercado energético interno eficiente y seguro en la UE.
- **Clean Energy for All Europeans Package:** Conjunto de medidas legislativas diseñadas para facilitar la transición hacia una energía limpia y sostenible, incluidas las Smart Grids.

3. Implementación en Países Miembros:

- **España:** Ha implementado proyectos como el “STAR” (Sistemas de Telegestión y Automatización de la Red) de Iberdrola.
- **Alemania:** Ha avanzado significativamente en la integración de energías renovables y el uso de medidores inteligentes.
- **Francia:** Proyecto “Linky” de Enedis para el despliegue masivo de contadores inteligentes.

Las Smart Grids integran una amplia gama de tecnologías avanzadas, algunas de las cuales se detallan a continuación:

- **Medidores Inteligentes (Smart Meters):** Dispositivos que registran el consumo de energía en intervalos cortos y envían esta información a la compañía eléctrica para monitoreo y facturación.
- **Sistemas de Gestión de la Energía (EMS):** Plataformas de software que optimizan la generación, distribución y consumo de energía en tiempo real.
- **Sensores y Actuadores:** Sensores distribuidos a lo largo de la red para monitorear el estado y el rendimiento de la infraestructura eléctrica. Actuadores que pueden realizar acciones correctivas automáticamente en caso de fallo.
- **Tecnología de Comunicación:** Redes de comunicación (como el Internet de las Cosas, IoT) que permiten la transmisión de datos entre dispositivos y sistemas de control.
- **Sistemas de Almacenamiento de Energía:** Baterías avanzadas y otros métodos de almacenamiento que ayudan a equilibrar la oferta y la demanda de electricidad.
- **Integración de Energías Renovables:** Tecnologías que facilitan la integración eficiente de fuentes de energía intermitentes como la solar y la eólica en la red.
- **Redes de Distribución Inteligente (Smart Distribution Networks):** Sistemas que mejoran la fiabilidad y la eficiencia de la distribución de electricidad mediante el uso de tecnología avanzada de automatización y control.
- **Ciberseguridad:** Soluciones para proteger la infraestructura crítica de la red eléctrica contra ataques cibernéticos y garantizar la integridad y seguridad de los datos.

Mediante la digitalización de las redes eléctricas inteligentes se puede conseguir un sistema más eficiente, sostenible, con bajas pérdidas y con altos niveles de calidad en el suministro. Con la implementación de este circuito inteligente no solo se conseguiría una mayor eficiencia energética y ahorro, sino que también tendría múltiples beneficios medioambientales, económicos y sociales.

Las redes inteligentes aumentan el nivel de **fiabilidad y calidad** en el suministro de energía eléctrica, figura 51. Cuando hay una avería, las tecnologías de la Smart Grid pueden detectar y aislar el problema, contribuyendo así a que la recuperación de la electricidad sea rápida y se desarrolle estratégicamente, por ejemplo, devolviendo la electricidad a los servicios de emergencia en primer lugar. Además, la red inteligente saca mayor **provecho de los microgeneradores** de energía que tienen instalados algunos de los clientes cuando no se dispone de electricidad procedente de la compañía eléctrica. Estas redes inteligentes facilitan a los clientes instrumentos que les permiten **optimizar su propio consumo eléctrico** y mejorar el funcionamiento del sistema global (gestión activa de la demanda). Lo hacen dando al usuario la información y las herramientas necesarias

para tomar decisiones sobre el uso de la energía. El cliente puede ver cuánta electricidad consume, cuándo la utiliza y cuánto le cuesta a tiempo real, y ahorrar dinero gestionando su propia energía y eligiendo el mejor momento para consumir electricidad.

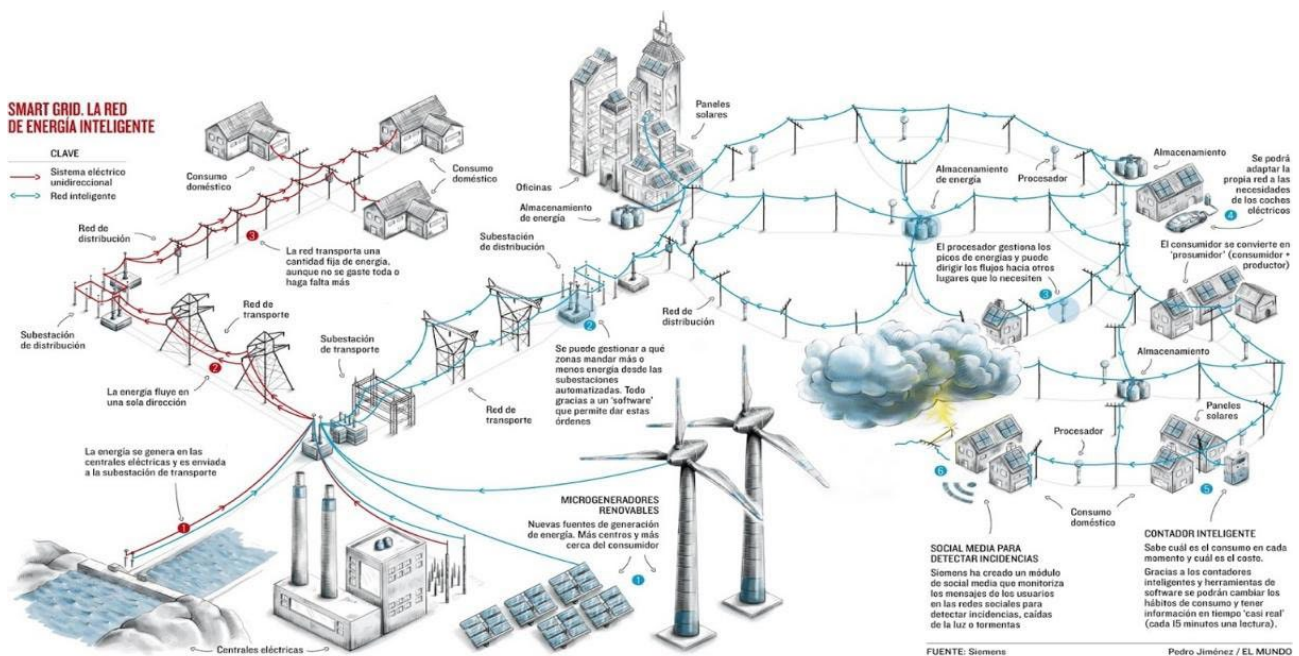


Figura 49: Esquema de un Smart Grid en una ciudad. [4]

4.4. DESARROLLO DE LAS SMART GRIDS EN EUROPA

Con el fin de alcanzar los objetivos de Objetivo 55 y REPowerEU en materia de energías renovables y eficiencia energética, se estima que entre 2020 y 2030 se necesitarán alrededor de 584.000 millones de euros de inversión en infraestructuras eléctricas, concretamente en el desarrollo de la red de distribución. Las inversiones en soluciones digitales, como la optimización de la red a nivel de distribución, ayudarán a reducir el gasto adicional en la mejora de la infraestructura de red existente, lo que permitirá un despliegue más rápido del coche eléctrico, las energías renovables descentralizadas, las bombas de calor y otras tecnologías eléctricas, mediante el uso de las infraestructuras existentes.

El despliegue de redes inteligentes es una de las 3 áreas temáticas prioritarias de las redes transeuropeas de energía [5], cuyo objetivo es ayudar a integrar las energías renovables, completar el mercado europeo de la energía y permitir a los consumidores regular mejor su consumo de energía. Con el fin de asesorar sobre las orientaciones políticas y reglamentarias para el despliegue de las redes inteligentes en Europa, la Comisión EU creó en 2019 un grupo de trabajo (Smart Grids Task Force) sobre redes

inteligentes, formado por 5 grupos de expertos en temas clave como la normativa, la ciberseguridad y la flexibilidad de la demanda. En septiembre de 2023, la Comisión Europea creó el Smart Energy Expert Group [6] que sustituyó al *Smart Grids Task Force*. La Comisión Europea ofrece, a través de JRC (Joint Research Centre), un conjunto de recursos, para monitorizar y conocer el desarrollo de diferentes ámbitos relacionados con las SGs [7].

La Comisión Europea, también apoya el desarrollo de Smart Grids a través de proyectos de I+D, financiados por Horizonte 2020 y Horizonte Europa. En el último programa marco de investigación e innovación Horizon 2020, la INEA (Innovation and Networks Executive Agency), responsable de la gestión de una parte de los fondos destinados a la investigación en energía y transporte y de seleccionar y financiar proyectos en los ámbitos de la energía segura, limpia y eficiente y del transporte (inteligente, verde e integrado). Entre 2014 y 2020 se destinaron 6,7 billones de euros para el desarrollo de proyectos, de los cuales 3,8 billones se destinaron a la investigación en el campo de la energía. En concreto, la INEA gestionó 32 proyectos de SGs a lo largo del programa Horizon 2020, por un importe de 337 millones de euros y en los que participaron 379 organismos de 31 países. Es destacable también la iniciativa BRIDGE [9]. Se trata de una iniciativa que trata de unir los proyectos de redes inteligentes, almacenamiento de energía, islas y digitalización de los programas H2020 y Horizon Europe para tener una perspectiva estructurada de la cuestiones y problemáticas transversales que surgen en los proyectos de demostración y que pueden suponer barreras en la innovación. El intercambio de información y conocimiento que propicia la iniciativa BRIDGE, permite elaborar conclusiones y recomendaciones sobre la explotación de los resultados de los proyectos.

En octubre de 2022, la Comisión Europea aprobó el “**Digitalisation of Energy Action Plan**” [10] con el propósito claro de impulsar la inversión en Smart Grids.

La Comisión Europea establece que para aprovechar el potencial de las tecnologías digitales y acelerar la digitalización del sistema energético es necesario actuar en diversos frentes.

La Comisión Europea, plantea el desarrollo de 24 acciones dentro del Plan de Acción, tabla 9.

Tabla 9: Plan de Digitalización del sistema energético: acciones clave de la comisión europea y plazos indicativos. [10]

Un marco de la UE para el intercambio de datos	
Establecerá formalmente el «Grupo de Expertos en Energía Inteligente» y creará «Datos para la energía (D4E)» como uno de sus grupos de trabajo permanentes.	T.I 2023
Establecerá la gobernanza del espacio común europeo de datos relativos a la energía.	2024
Adoptará un acto de ejecución sobre los requisitos y procedimientos de interoperabilidad para el acceso a los datos de medición y consumo	T.III 2022 (presentación al procedimiento de comité)
Preparará el terreno para la adopción de actos de ejecución sobre los requisitos de interoperabilidad y los procedimientos de acceso a los datos necesarios para responder a la demanda y los cambios de los clientes	T.III 2022 (inicio de la actividad)
Promoverá un código de conducta para los aparatos inteligentes desde el punto de vista energético que permita la interoperabilidad e impulse su participación en los sistemas de respuesta de la demanda.	T.IV 2023
Tiene la intención de apoyar la implementación del espacio común europeo de datos relativos a la energía a través de una convocatoria de propuestas del programa Europa Digital.	2024
Fomento de las inversiones en infraestructuras eléctricas digitales	
Apoyará a los gestores de redes de transporte y a los gestores de redes de distribución de la UE para la creación de un gemelo digital de la red eléctrica europea.	A partir de 2022
Apoyará a la ACER y a las autoridades nacionales competentes en su labor para definir indicadores comunes de redes inteligentes.	De aquí a 2023
Apoyará, en el marco del MCE Digital, el desarrollo de conceptos y estudios de viabilidad para plataformas digitales operativas paneuropeas.	De aquí a 2024
Garantizar ventajas para los consumidores: nuevos servicios, capacidades y empoderamiento	
Garantizará que los proyectos clave de I+i colaboren a fin de determinar estrategias para implicar a los consumidores en el diseño y el uso de herramientas digitales.	T.II 2023
Determinará y preseleccionará herramientas digitales y elaborar orientaciones sobre el uso compartido de energía y los intercambios entre pares en beneficio de las comunidades de energía y sus miembros, como parte del repositorio de las comunidades de energía.	2023-2024
Desarrollará una plataforma de experimentación para probar y simular comunidades de energía.	2023-2024
Apoyará el establecimiento de una asociación a gran escala como parte del Pacto por las Capacidades.	Finales de 2023
Reforzar la ciberseguridad y la resiliencia del sistema energético	
Propondrá un acto delegado sobre la ciberseguridad de los flujos eléctricos transfronterizos.	T.I 2023
Propondrá un acto delegado sobre ciberseguridad de las redes de distribución gas (pendiente de confirmación tras el resultado del procedimiento legislativo).	Pendiente de confirmación

Control del consumo de energía del sector de las TIC	
Desarrollará un sistema de etiquetado energético para los ordenadores y evaluará una posible revisión del Reglamento sobre diseño ecológico sobre servidores y productos de almacenamiento de datos. Estudiará la posibilidad de desarrollar indicadores comunes para medir la huella ambiental de los servicios de comunicaciones electrónicas.	T.IV 2023
Establecerá un código de conducta de la UE para la sostenibilidad de las redes de telecomunicaciones.	T.IV 2025
Financiará un estudio y preparará una campaña de comunicación y sensibilización sobre el consumo de energía responsable en nuestros comportamientos digitales cotidianos.	2022-2023
Propondrá obligaciones vinculantes y requisitos de transparencia, así como disposiciones para promover la reutilización del calor residual por parte de los centros de datos.	T.IV 2022
Explorará y preparará la introducción de un sistema de etiquetado medioambiental para los centros de datos.	2025
Desarrollará una etiqueta de eficiencia energética para la cadena de bloques.	2025
Un enfoque coordinado a escala de la UE	
Crearé la plataforma «Reunir innovadores de la energía y digitales de toda la UE» (<i>Gathering Energy and Digital Innovators from across the EU</i> , GEDI-UE).	2022
Tiene la intención de prestar apoyo financiero a la I+i y la comercialización de las tecnologías digitales en el sector de la energía, a través del programa Europa Digital, LIFE, la política de cohesión y un programa emblemático para la digitalización de la energía en Horizonte Europa	2023-2024
Desarrollará, en cooperación con la Coalición Digital Verde Europea, herramientas y metodologías para medir el impacto neto de las tecnologías digitales facilitadoras en el sector de la energía, en el medio ambiente y en el clima.	2023-2024

La evolución de las redes eléctricas tradicionales hacia las **Smart Grids** representa un cambio de un sistema unidireccional a uno bidireccional. Esta transición permite que la electricidad fluya en ambos sentidos, **transformando a los consumidores en prosumidores, capaces de producir, almacenar y comercializar energía**. La implementación de sistemas informáticos avanzados en las Smart Grids facilita la adaptación a las fluctuaciones de producción y demanda energética, otorgando a los prosumidores la capacidad de ajustarse a cambios dinámicos en tiempo real. Las Smart Grids promueven una mayor flexibilidad, seguridad y una respuesta más precisa a la demanda, además de descentralizar la producción y optimizar la gestión de carga.

Con la integración de tecnologías Smart Grid, se logra una reducción significativa de pérdidas y se garantiza una alta calidad en el suministro de energía. Las **CEL** emergen como actores clave en el desarrollo de las Smart Grids, contribuyendo a un mayor nivel de eficiencia energética a través de centros de gestión y telegestión.

El incremento de la generación de energía a partir de fuentes renovables hace necesario adaptar la red para poder integrarlas. La energía eólica y los grandes sistemas de almacenaje suelen conectarse

a la red de transmisión mientras que la solar fotovoltaica, las baterías y las bombas de calor se conectan a las redes de distribución.

Para dar respuesta a este incremento de la producción energética proveniente de fuentes renovables la Unión Europea puso en marcha el Plan de Desarrollo de Red a Diez Años (Ten Years Network Development Plan (TYNDP)) [11] para planificar y desarrollar las redes eléctricas y gasísticas hasta el año 2030.

El TYNDP se publica cada dos años y tiene como objetivo ayudar a los operadores de red y a los reguladores a planificar y desarrollar las redes eléctricas y gasísticas de manera coordinada y sostenible y se centra en la planificación a largo plazo de las redes eléctricas y gasísticas para garantizar la seguridad, la fiabilidad y la eficiencia de la distribución de energía y gas en la Unión Europea.

De acuerdo con los operadores de transmisión, uno de los mayores obstáculos de los retrasos en la ejecución de los proyectos y del aumento de los costos, son los procesos administrativos y la concesión de permisos.

En 2022, la Comisión a través de JRC elaboró un documento en el que destaca las cinco tecnologías clave necesarias para integrar en el sistema el incremento esperado de energía de origen renovable, necesario para llevar a cabo la transición energética. Esta integración depende de una infraestructura de red inteligente basada en soluciones digitales e interoperables. Estas tecnologías son:

a) Innovación en la red de transmisión:

Para integrar la energía de origen renovable en el sistema será necesario un incremento sustancial y mejoras de la capacidad de la infraestructura de transporte. Según Monitor Deloitte, el 70% de las Fuentes de Energía Renovables (FER) previstas en la década 2020 – 2030 estarán conectadas a redes eléctricas de distribución. Como resultado, también se prevén importantes niveles de inversión para modernizar y desarrollar redes inteligentes de distribución.

b) Servicios de almacenamiento a escala de red:

Contar con sistemas de almacenamiento con baterías, es fundamental para poder operar y planificar de manera eficiente el mix energético proveniente de fuentes de energía renovables y gestionadas a través de redes inteligentes digitalizadas. El almacenamiento es muy importante para adecuar la capacidad del sistema eléctrico al proporcionar capacidad extra durante picos en función de la demanda, contribuyendo así a estabilizar la red eléctrica, pero también puede incluir la capacidad de respaldo en caso de cortes de energía.

Estudios recientes indican que futuros escenarios con alto desarrollo de energías renovables, un aumento del 5% del almacenamiento en baterías podría conducir a una reducción aproximada del 1,7% en los costos de generación y del 3% de las horas de congestión en líneas de transmisión críticas. Se espera un crecimiento exponencial de la instalación de almacenamiento en todo el mundo. Un elemento fundamental que impulsará su expansión será la reducción significativa de costos de las tecnologías de baterías. En los próximos 8-10 años se espera que con el costo de las baterías y las plantas de almacenamiento completas se reduzca en un 40% y 30%, respectivamente, figura 50. Como se aprecia en el gráfico, el coste viene dado no sólo por el coste de la batería sino por otros elementos adicionales (componentes, equipos e instalación), cuya reducción del coste no será tan elevada como la de las baterías.

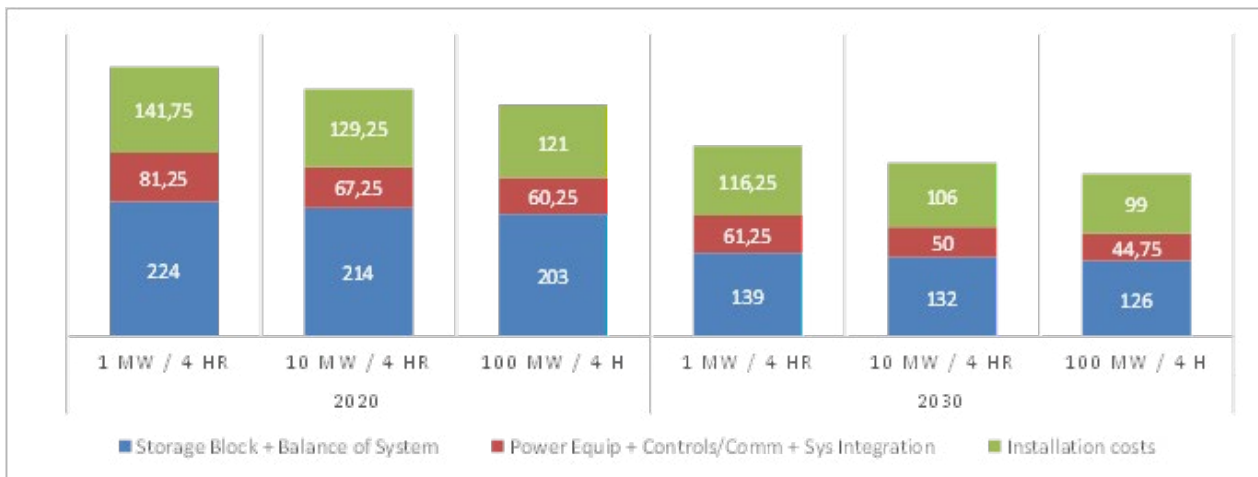


Figura 50: Desglose de coste unitario de proyectos de almacenamiento. [13]

En cuanto al crecimiento esperado del almacenamiento en el mundo, se espera que éste, alcance los 160GW en 2026 y 360GW en 2030. Figura 53. Aunque las cifras entre diferentes estudios varían y algunas estimaciones avanzan una instalación de 500GW en 2030 existe acuerdo en que China y Estados Unidos tendrán la mayor proporción de capacidad de almacenamiento instalada, seguidos de Europa y Asia Pacífico (sin incluir China).

En microredes con alta penetración de energía renovable, los sistemas de almacenamiento de energía (ESS) juegan un papel crucial en la estabilización y funcionalidad del sistema. Estas tecnologías son fundamentales para proyectos ambiciosos que buscan distribuir los costes de energía con precios dinámicos entre diferentes consumidores.

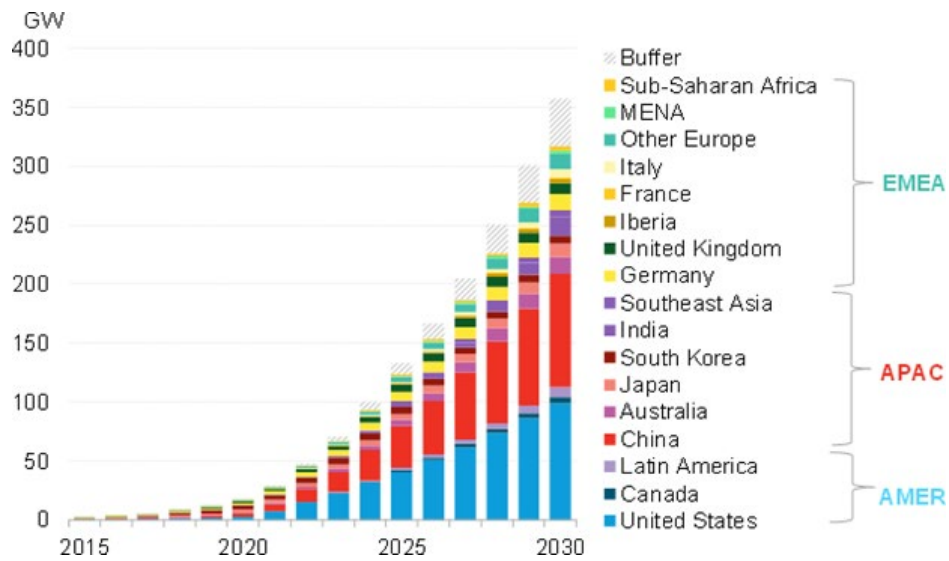
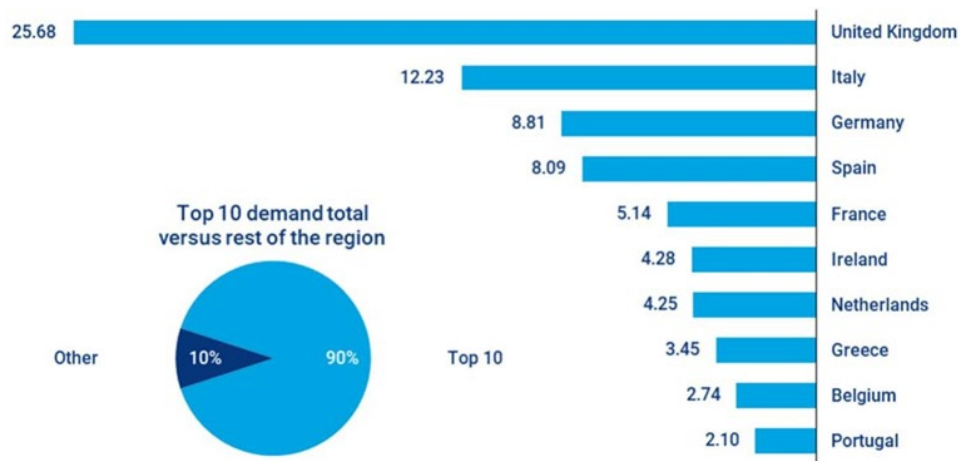


Figura 51: Almacenamiento global acumulado, por mercados, 2015-2030. [12]

En cuanto al desarrollo esperado en el mercado europeo, se espera que la capacidad de almacenamiento se multiplique por 20 en los próximos diez años, alcanzando un total de 45 GW/89GWh de sistemas de almacenamiento en red en 2031. En la figura 52 se recoge la distribución de la capacidad de almacenamiento eléctrico prevista por país [13].



Source: Wood Mackenzie

Figura 52: Principales mercados europeos de almacenamiento a escala de red. Nueva capacidad 2022-2031 (GWh). [13]

c) Carga inteligente de vehículos eléctricos

Entre 2020 y 2023, la venta de vehículos eléctricos en todo el mundo pasó de 3 millones de unidades a 14 millones de vehículos eléctricos. Junto con el aumento de las ventas de vehículos eléctricos, se prevé que el valor del mercado mundial de la electricidad para la carga de vehículos eléctricos crezca más de 20 veces, según la Agencia Internacional de la Energía (AIE), alcanzando aproximadamente 190.000 millones de dólares en 2030. Con el incremento de la venta de vehículos eléctricos y la instalación de estaciones de carga, se espera también que aumente la instalación de cargadores inteligentes. Estos tienen capacidad para comunicarse y coordinarse con otros dispositivos y sistemas, así como para adaptarse a diferentes condiciones de carga y preferencias del usuario. En la tabla 9 se muestran los diferentes tipos de cargadores inteligentes y su grado de madurez.

Tabla 10: Tipos de cargadores inteligentes y grado de madurez. [14]

Type of application	Smart control over charging power	Possible uses	Maturity
Uncontrolled but with time-of-use tariffs	None	Peak shaving with implicit demand response; long-term grid capacity management (both transmission and distribution system operators)	High (based on changes in charging behaviour only)
Basic control	On/off	Grid congestion management	High (partial market deployment)
Unidirectional controlled (V1G)	Increase and decrease in real time the rate of charging	Ancillary services, frequency control	High (partial market deployment)
Bidirectional vehicle-to-grid (V2G) and grid-to-vehicle (G2V)	Instant reaction to grid conditions; requires hardware adjustments to most vehicles and EVSE	Ancillary services including frequency control and voltage control, load following and short-duration integration of renewable energy	Medium (advanced testing)
Bidirectional vehicle-to-X (e.g., V2H/V2B)	Integration between V2G and home/building management systems	Micro-grid optimisation	Medium (advanced testing)
Dynamic pricing with EVs (controlled)	EVSE-embedded meters and close-to-real-time communication between vehicle, EVSE and the grid	Load following and short-duration integration of renewable energy	Low

Por lo tanto, los cargadores inteligentes pueden ofrecer flexibilidad al sistema, facilitando el equilibrio de las redes inteligentes y la potencia de abastecimiento.

La estandarización se ha centrado hasta ahora en cuestiones técnicas, como enchufes, conectores, y seguridad eléctrica. Sin embargo, es necesario también establecer estándares sobre modelos de datos, interfaces de comunicación con el fin de facilitar la compatibilidad y comunicación entre puntos de recarga, redes de distribución y vehículos eléctricos.

d) Infraestructura de medición avanzada (Advanced metering infrastructure-AMI)

Disponer de sistemas e infraestructuras de medición avanzada es clave para el desarrollo de las redes inteligentes de energía, dado que permiten el intercambio de información entre el consumidor (o prosumidor) y el proveedor de energía, ya que le permite ser un miembro activo de la red inteligente al ajustar el consumo para evitar picos de energía y al mismo tiempo maximizar el potencial de la red. Los sistemas de medición avanzada incluyen los contadores inteligentes, pero no exclusivamente, dado que son importantes también las redes de comunicación y los sistemas de gestión de información, necesarios para el procesamiento de los datos que recogen los contadores inteligentes.

En cuanto al despliegue de contadores inteligentes, elemento central de los sistemas de medición inteligentes, permite a los consumidores aprovechar las ventajas de la digitalización del mercado energético, tener acceso a información sobre su consumo energético y precios de la electricidad de manera dinámica. Para ello, los contadores deben estar provistos de determinadas funcionalidades, recogidas en la Directiva de la Electricidad EU/2019/944.

De acuerdo con la Directiva “*Clean Energy for All Europeans*”, el 80% de todos los hogares europeos debería estar equipado con contadores inteligentes en el año 2020. Para llevar a cabo el despliegue de contadores inteligentes, los países debían llevar a cabo un análisis coste-beneficio. La implementación de contadores inteligentes es heterogénea en Europa. De acuerdo con la Agencia para la Cooperación de Reguladores de Energía (ACER), el 54% de los hogares tenía un contador inteligente a finales de 2021 y sólo en 13 países el grado de penetración superaba el 80% al final de 2022.

Las microredes (MG) son sistemas que permiten la integración de componentes esenciales para operar tanto en modo isla como conectados a la red principal. El control de una microred se basa en una estructura jerárquica que comprende niveles de control primario, secundario y terciario. Los estudios contemporáneos se centran en la elaboración de estas jerarquías y en la adopción de sistemas de control centralizado o distribuido. Se ha observado que la estructura de control distribuida ofrece mayores ventajas en términos de confiabilidad y resiliencia, ya que permite la interconexión en red y la toma de decisiones de control basadas en el consenso. El análisis del control de voltaje/frecuencia y la compartición de potencia activa/reactiva son aspectos fundamentales en la investigación actual. Los métodos de control de caída son cada vez más relevantes, siendo el control primario del sistema jerárquico en la microred esencial para la estabilidad operativa con múltiples generadores distribuidos. La gestión de la potencia activa y reactiva, así como la implementación de sistemas de almacenamiento de energía, son necesarios en las microredes para mitigar la incertidumbre asociada a la producción de energía renovable. De acuerdo al *Clean Energy Package*, establece las funcionalidades relativas a los datos e información de los contadores inteligentes. Estas se recogen en la Tabla 11.

Tabla 11: Características de los Smart meters en la EU. [14]

Funcionalidades relacionadas con los datos de los contadores inteligentes según la Directiva "Clean Energy Package"
• Envían información sobre el consumo a los usuarios finales: consumo histórico y consumo casi en tiempo real.
• Deben estar alineados con la legislación en materia de privacidad, protección de datos y ciberseguridad.
• Deben enviar información sobre la electricidad generada por los prosumidores y aportada a la red.
• Los datos de los contadores inteligentes son propiedad de los consumidores y pueden transmitirse a terceras partes.
• Las funcionalidades de los contadores inteligentes en cuanto a las lecturas de consumo deben conocerse a priori o en el momento de su instalación.
• Se debe seguir la resolución de tiempo predefinida, establecida por el mercado eléctrico, en lo que respecta a las mediciones de los contadores inteligentes de consumo y/o generación.

De acuerdo con estimaciones sobre el despliegue de contadores inteligentes en la UE, [14] de aquí a 2030 la inversión en sistemas de contadores inteligentes puede alcanzar un importe agregado de 47.000 millones de euros (si se instalan 266 millones de contadores inteligentes, lo que corresponde a una penetración del 92%). Además, se estima que el coste de instalación de un contador inteligente en la UE se sitúa de media entre 180 y 200 euros, mientras que, por término medio, los contadores inteligentes proporcionan un ahorro de 230 euros para el gas y 270 euros para la electricidad, por año en cada punto de medición (distribuido entre consumidores, proveedores, gestores de redes de distribución, etc.), así como un ahorro medio de energía del 2%-10%.

e) Sistemas de gestión de energía en viviendas

Los sistemas de gestión de energía en el hogar (SGEH) se refieren a un conjunto de tecnologías, tanto de hardware como de software, enfocadas para la gestión eficiente del uso de la energía en los hogares. Se considera que las SGEH son un elemento clave en el desarrollo de las redes inteligentes ya que permiten reducir el consumo de energía y aportan la necesaria flexibilidad en la gestión de la demanda por parte del consumidor final. Además de los contadores inteligentes, el mercado de "dispositivos de información" (enchufes inteligentes, termostatos, iluminaciones inteligentes, etc.) así como tecnologías de generación de energía ha crecido en los últimos años como generadores de datos e información.

Además, la información y los datos generados son cada vez más personalizados. Compañías líderes como Google, Apple y Cisco distribuyen productos SGEH y ofrecen servicios de gestión de energía en el hogar. Emergen proyectos que abordan la flexibilidad de demanda, integrándose en las CEL y utilizando tecnologías de código abierto y plataformas de flexibilidad. El estudio COMPILE destaca las oportunidades de las islas de energía para la descarbonización y la generación de beneficios ambientales y socioeconómicos, promoviendo la creación de CEL conscientes de su impacto en la economía local y la inclusión de grupos vulnerables.

Las principales tecnologías y empresas líderes se recogen en la siguiente figura 53.

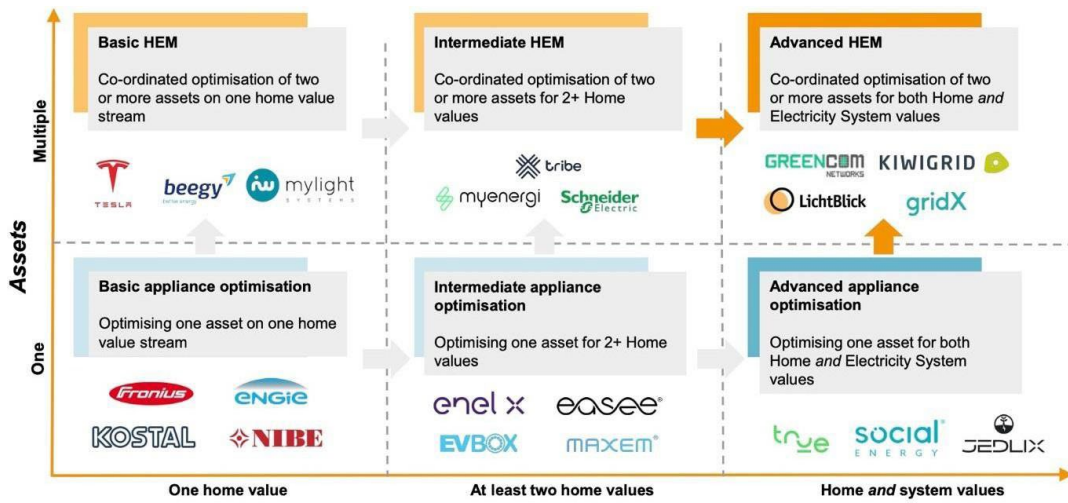


Figura 53: Principales tipos de SGEH. [8]

Los principales mercados de crecimiento en los próximos años, serán Alemania, Reino Unido y Francia. La previsión de crecimiento de “hogares inteligentes” en Europa es positiva como se muestra en la figura 54.

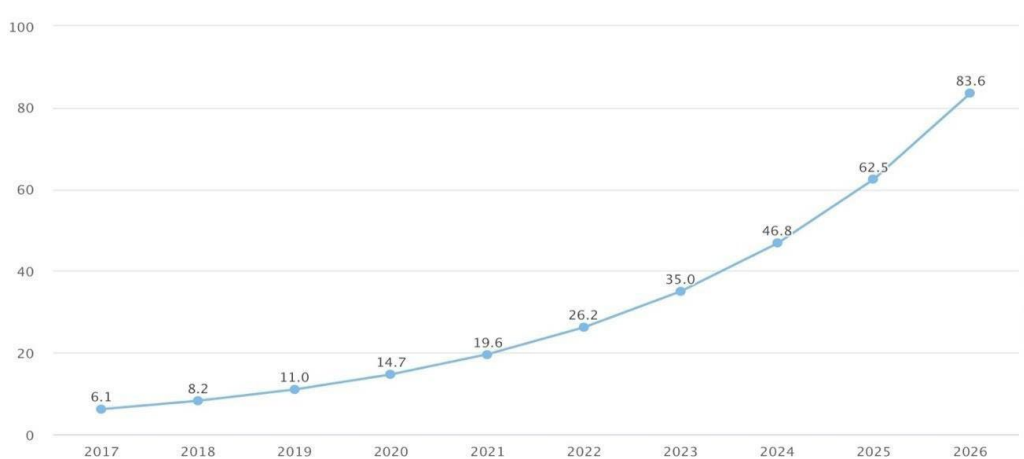


Figura 54: Hogares inteligentes en Europa (millones). [8]

Investigaciones recientes han comparado diferentes modelos operativos de CEL frente a prosumidores independientes. Un estudio destacado analiza los costes de energía con precios dinámicos, donde un Community Manager gestiona los excedentes de energía y los electrodomésticos flexibles, así como la carga en vehículos eléctricos que actúan como puntos de almacenamiento. Este estudio emplea métodos como el Bill Sharing Method Net (BSMN), Mid-Market Rate Net (MMRN) y Supply-Demand Ratio Net (SDRN) para distribuir costos. Las conclusiones sugieren una metodología de compensación de ahorros que beneficia a todos los consumidores de la comunidad, con ahorros estimados entre un 3 y un 20% en comparación con los no comunitarios.

En el ámbito de la estabilidad de la red eléctrica, especialmente en zonas remotas, la planificación de microrredes basada en datos se erige como una solución eficaz. La implementación de **Building Information Modeling (BIM)** y **Geographic Information Systems (GIS)** permite una evaluación exhaustiva de alternativas y un análisis profundo de **big data** para la construcción de sistemas eléctricos solares. Estos sistemas no solo cumplen con los requisitos de planificación y gestión de activos, sino que también ofrecen una integración sinérgica para la optimización de recursos y la reducción de tiempos y costos en la planificación de microrredes.

f) La aplicación e impacto de los Smart Grids

En Europa se están desarrollando iniciativas de redes inteligentes, a modo de experiencias piloto y con diferentes grados de implementación. Se están desarrollando numerosos proyectos de investigación. Como ejemplo, el proyecto Flexgrid [15] aborda cómo gestionar la flexibilidad necesaria para implementar redes inteligentes de energía.

En España existen unos 300 distribuidores si bien el 75% del mercado está controlado por cinco grandes empresas (Endesa, Iberdrola, Naturgy, Viesgo y EDP). Todos ellos están invirtiendo para modernizar las redes y adaptarse al nuevo escenario de los Smart Grids. Aunque la normativa en España no está tan desarrollada como en otros países para el desarrollo de las redes inteligentes, sí se ha desarrollado la implantación de contadores inteligentes en la red de distribución de baja tensión, y aunque no son los únicos elementos necesarios, sí son importantes para avanzar hacia el desarrollo de las redes inteligentes. De las 300.000 subestaciones implantadas en el país, el 30-40% se han modernizado en los últimos años, lo cual facilita en desarrollo e impulso de la telegestión.

Como ejemplo, el proyecto SmartNET, [16] en el que participó Endesa en el periodo 2015-2018, integrado por 22 empresas de 9 países, y en el que se desarrollaron tres experiencias piloto, en Italia, Dinamarca y España. Naturgy está desarrollando planes de inversión millonarios hasta el 2025 en la integración de los recursos de la red, el almacenamiento energético o la gestión de información de las *smart grids*.

Más recientemente, en enero de 2024 finalizó el proyecto Ebalance-plus [17] financiado con 8 millones de euros por el Programa Horizonte 2020 en el que han participado 15 socios (pymes, centros de investigación y representantes de la industria) de diez países (España, Dinamarca, Francia, Alemania, Grecia, Italia, Polonia, Portugal, Turquía y el Reino Unido). Los socios españoles fueron Cemosa (coordinador del proyecto), la Universidad de Málaga, Ampere Energy y Software para Sistemas Críticos.

El proyecto ha desarrollado un sistema de unidades de gestión distribuida y software que pueden ubicarse en todos los puntos de la red, (consumo, generación y la distribución). El sistema incluye soluciones con el fin de aportar flexibilidad energética asociada al consumo general, almacenamiento de energía, generación de electricidad fotovoltaica, carga de vehículos eléctricos, electrodomésticos, etc.

En noviembre del 2023 se puso en marcha el **prototipo** [18] en el puerto de Pasaia, en Gipuzkoa. Se trata de la primera Smart Grid portuaria de Euskadi. Esta permite utilizar de forma bidireccional los excedentes de energía en las embarcaciones eléctricas amarradas y conectadas a la red de carga. El objetivo del proyecto es diseñar, instalar y evaluar en condiciones reales en el puerto de Pasaia una nueva infraestructura de carga de energía eléctrica.

Esta iniciativa, se enmarca dentro del objetivo del reto de que todos los puertos en España se encuentren electrificados en 2030, en consonancia con las regulaciones de la Unión Europea para descarbonizar los muelles. Para ello se potenciará las redes de distribución eléctrica inteligente, Smart Grids y redes bidireccionales que transmitan electricidad en ambos sentidos.

g) La aplicación de la IA en las Smart grids

La inteligencia artificial también se comienza a aplicar a la gestión de las Smart Grid. Un ejemplo es ChatGrid, una herramienta de inteligencia artificial generativa en desarrollo para la visualización de las redes eléctricas [19].

Otro ejemplo es el proyecto SYNERGY [20]. Se trata de un proyecto europeo en el que han participado 24 socios de 9 países. Fue liderado por el coordinador español ETRA y han participado otros socios españoles: Fundación Circe, Cuerva Energía, Cobra y Sistemas Urbanos de Energías Renovables. El proyecto ha desarrollado una plataforma de Big Data y un mercado de IA, 12 aplicaciones energéticas y 21 casos de uso en cinco sitios de demostración a gran escala en España, Grecia, Austria, Finlandia y Croacia. La plataforma facilita la gestión eficiente de datos energéticos previamente dispersos y no interoperables, además del intercambio confiable de datos dentro de la cadena de valor de los “datos eléctricos”, e información procesable extraída mediante análisis de datos totalmente configurables.

La inteligencia artificial (IA) desempeña un papel fundamental en la gestión avanzada de datos en microrredes. Herramientas como Wiser Home Energy Management optimizan la eficiencia energética doméstica y el uso de energía fotovoltaica. La IA, mediante aprendizaje automático y procesamiento

de lenguaje natural, analiza big data para identificar patrones y realizar predicciones. La conectividad 5G y el Internet de las Cosas (IoT) facilitan la creación de ciudades digitales, donde la Computación de Borde asegura la transmisión eficiente de datos relevantes.

Las plataformas de servicios basadas en la nube, como el Software as a Service (SaaS), están transformando la conectividad entre producción, consumo y comercialización energética. Estas plataformas permiten una gestión en tiempo real de los datos, con IA integrada para controlar variables y procesos modulares, adaptándose a las necesidades de las CEL y promoviendo la participación activa de los prosumidores.

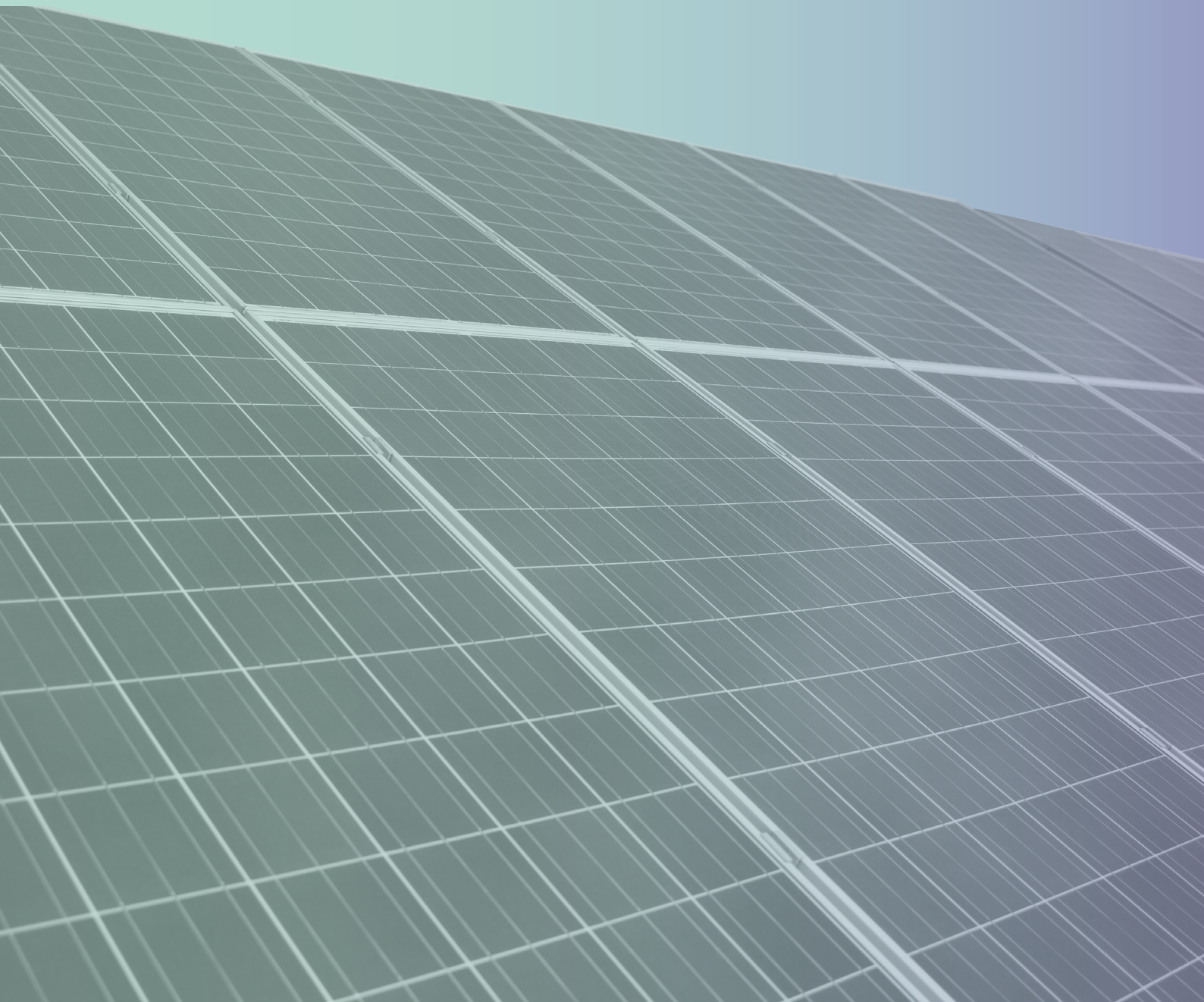
REFERENCIAS

1. GNERA Energía y Tecnología S.L. (2023). GNERA Energía | Agente Representante en el Mercado Eléctrico. Recuperado de <https://www.gnera.es/>
2. CENER. (2021). Implementación de sistemas de gestión energética en instalaciones industriales. Centro Nacional de Energías Renovables (CENER). Recuperado de <https://www.cener.com/publicaciones/EMS2021>
3. Fang, X., Misra, S., Xue, G., & Yang, D. (2012). Smart Grid — The New and Improved Power Grid: A Survey. *IEEE Communications Surveys And Tutorials/IEEE Communications Surveys And Tutorials*, 14(4), 944-980. <https://doi.org/10.1109/surv.2011.101911.00087>
4. Paltto O. 2015. Smart Grids: Estudio y gestión energética en Centros de Computación <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/30168/TFG-I-835.pdf>
5. Comisión Europea. (2020). Guidance on the TEN-E Regulation: A framework for the development of trans-European energy infrastructure. Publicaciones de la Unión Europea. Recuperado de https://europa.eu/energy_guidelines_TEN-E
6. ENTSO-E. (2018). Digitalisation of the European electricity grid: Opportunities and challenges. European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E). Recuperado de <https://www.entsoe.eu/publications>
7. Del Río, P., & Kiefer, C. P. (2019). The role of smart grids in the integration of renewable energy sources: A review of JRC tools and resources. *Energy Reports*, 5, 943-958. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.08.001>
8. Joint Research Centre (JRC). (2021). Annual report on the progress of smart grids in Europe: Smart Grids Observatory findings. European Commission. Recuperado de <https://ses.jrc.ec.europa.eu/smart-grids-observatory>
9. European Commission. (2021). BRIDGE: Advancing smart grids and storage technologies in Europe. Publications Office of the European Union. Recuperado de <https://bridge-smart-grid-storage-systems-digital-projects.ec.europa.eu/>
10. European Commission. (2020). Digitalisation of the energy sector: Enhancing the integration and efficiency of Trans-European Networks. Publications Office of the European Union. Recuperado de <https://ec.europa.eu/energy/digitalisation>
11. ENTSO-E. (2022, 1 de agosto). ENTSO-E releases pan-European network development plan for 2030-2040 (TYNDP 2022) for consultation until 16 September. Recuperado de <https://www.entsoe.eu/news/2022/08/01/entso-e-releases-pan-european-network-development-plan-for-2030-2040-tyndp-2022-for-consultation-until-16-september>

12. Kou, Helen, et al. "Global Energy Storage Market to Grow 15-Fold by 2030." BloombergNEF, 12 Oct. 2022.
13. Roca J.A. (2022) La capacidad europea de almacenamiento a escala de red se multiplicará por 20 para 2031: España, entre los principales mercados. <https://elperiodicode-laenergia.com/la-capacidad-europea-de-almacenamiento-a-escala-de-red-se-multiplicara-por-20-para-2031-espana-entre-los-principales-mercados/>
14. Directorate-General for Energy. (2020, 18 de marzo). Benchmarking smart metering deployment in the EU-28. Recuperado de https://energy.ec.europa.eu/publications/benchmarking-smart-metering-deployment-eu-28_en
15. FLEXGRID Project. (n.d.). The EU Horizon 2020 FLEXGRID project. FLEXGRID. <https://flexgrid-project.eu>
16. Endesa. (n.d.). SmartNet: Generación distribuida. Endesa. <https://www.endesa.com/es/proyectos/todos-los-proyectos/transicion-energetica/smartnet-generacion-distribuida>
17. Ebalanceplus. (n.d.) project - ebalanceplus. Recuperado de <https://www.ebalanceplus.eu/project/>
18. Ayuntamiento de Pasaia. Presentación del prototipo Kaindar: un paso hacia la descarbonización de los puertos (2023). <https://www.pasaia.eus/es/-/kaindar-prototipoaren-aurkezpena>
19. Smartgridsinfo. (2024, 13 de marzo). Inteligencia artificial generativa con ChatGrid para la visualización de las redes eléctricas en Estados Unidos. Recuperado de <https://www.smartgridsinfo.es/2024/03/13/inteligencia-artificial-generativa-chatgrid-visualizacion-redes-electricas-estados-unidos>
20. Synergy H2020. (n.d.). Home - Synergy H2020. Recuperado de <https://synergyh2020.eu/>



**ESTUDIO Y ANALISIS DE
UN CASO REAL DE
COMUNIDAD ENERGÉTICA
LOCAL CEL**



5. ESTUDIO Y ANALISIS DE UN CASO REAL DE COMUNIDAD ENERGÉTICA LOCAL CEL

5.1 COMUNIDADES DE ENERGÍA SOSTENIBLES, CEL

Las comunidades energéticas desempeñan un papel fundamental en la Unión Europea (UE) como catalizadores de la transición hacia un panorama energético sostenible y descentralizado [1,2]. Su importancia radica en contribuciones múltiples que son fundamentales para lograr en un futuro próximo una transición energética descarbonizada [3,4].

La participación de los ciudadanos constituye un principio fundamental dentro de las comunidades energéticas, fomentando la participación activa de los ciudadanos en diversas facetas de la producción, el consumo y los procesos de toma de decisiones de energía [5]. Las personas se convierten en partes interesadas en su futuro energético, las CEL promueven la gobernanza democrática y fomentan un sentido de propiedad sobre los recursos y la infraestructura energética.

La descentralización de la generación de energía es un principio fundamental de las CEL, que buscan dispersar las capacidades de generación de energía entre redes localizadas. Esta descentralización mitiga la dependencia de fuentes de energía centralizadas, mejora la resiliencia de la comunidad y refuerza la seguridad energética al diversificar las fuentes de energía y reducir la vulnerabilidad a puntos únicos de falla.

La integración de las energías renovables se encuentra en el centro de las iniciativas de la CEL, impulsando la adopción e integración de fuentes de energía renovables en la combinación energética [6]. Al aprovechar la energía solar, eólica y otras tecnologías de energía sostenible, las CEL contribuyen a reducir la dependencia de los combustibles fósiles, mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero, GEI y avanzar en la transición hacia una economía baja en carbono [7].

La eficiencia energética y la reducción de emisiones son objetivos clave defendidos por las CEL a través de la acción colectiva y la colaboración. Las CEL promueven medidas de eficiencia energética y aprovechando los recursos compartidos mediante la optimización de los patrones de consumo de energía, reduciendo así la demanda general de energía y la huella de carbono y soluciones novedosas para la gestión energética sostenible con una mejora de la red eléctrica [8,9].

Al diversificar las fuentes de energía y fomentar la producción localizada de energía las CEL se vuelven más resilientes a las perturbaciones externas, lo que garantiza la continuidad del suministro y mejora la seguridad energética general [10].

Numerosos estudios de investigación han profundizado en el ámbito de las comunidades energéticas (CE), y cada uno ofrece perspectivas y conocimientos únicos. Por ejemplo, Gianaroli et al. [11] ofreció una contribución significativa al campo de las comunidades energéticas al proporcionar un análisis exhaustivo de la literatura existente. Destacaron la creciente atención hacia las comunidades de energía renovable (CER), abogaron por un enfoque holístico que integre las perspectivas económicas y sociales y brindaron orientación práctica para superar las barreras regulatorias y financieras, alineándose con objetivos de transición energética sostenible e inclusiva. Berg et al. [12] proporcionó información crucial sobre los beneficios y el impacto en la red de las comunidades energéticas bajo diversas configuraciones de miembros, abordando una brecha en la literatura existente. Al emplear modelos de optimización y realizar estudios de casos en Noruega y España, destacaron la influencia significativa de las configuraciones de carga en los beneficios de los miembros y los impactos en la red de distribución. Sus hallazgos ofrecieron una valiosa guía para los responsables políticos, investigadores y partes interesadas de la industria involucradas en el desarrollo y la regulación de las comunidades energéticas en toda Europa, enfatizando la importancia de considerar diferentes perfiles de carga para maximizar los beneficios y minimizar los impactos de la red.

Lode et al. [13] examinaron los factores que influyen en el surgimiento de las CE, sugiriendo vías para futuras investigaciones para ayudar en su proliferación. Mientras tanto, Bauwens et al. [14] analizó 183 definiciones de CE, enfatizando su naturaleza y propósitos multifacéticos. Gruber et al. [15] realizaron un análisis extenso de la presencia del concepto CE en la literatura, mientras que de São José et al. [16] destacó la confusión predominante entre los investigadores debido a la superposición de conceptos y definiciones.

La exploración adicional de las CE ha abordado problemas específicos: Fouladvand et al. y Papatsonis et al. [17,18] examinaron las CE térmicas y las CE inteligentes, respectivamente, arrojando luz sobre su aparición y dinámica. Lazdins et al. [19] profundizaron en las dimensiones políticas, económicas y sociales de las EC fotovoltaicas, mientras que Berka et al. [20] identificaron enfoques cruciales para comprender los impactos locales de la energía renovable de propiedad comunitaria. Koirala et al. [21]

exploraron las tendencias energéticas que dan forma al desarrollo de sistemas energéticos comunitarios integrados.

Varios estudios se han centrado en aspectos gubernamentales y políticos [22,23]. Leonhardt et al. [24] analizaron los mercados emergentes entre pares y los conceptos de intercambio de energía desde perspectivas centradas en el consumidor. Gjorgievski et al. [25] diseccionaron los aspectos técnicos de diseño de los sistemas energéticos locales, evaluando sus impactos económicos, ambientales y sociales.

En el contexto europeo, Hewitt et al. [26] mapearon iniciativas de la CE en varios países, mientras que F.G. Reis et al. [27] analizaron los modelos de negocio de los proyectos de la CE en toda Europa. Busch et al. [22] revisaron la literatura de la CE a través de una lente política, y Wuebben et al. [28] se centraron en las comunidades energéticas ciudadanas introducidas por el IEMD. Esposito et al. [29] realizaron un estudio pionero centrado en el marco regulatorio de los estados miembros y proponiendo un procedimiento estandarizado para la implementación de comunidades de energía renovable (REC). Su investigación llena un vacío significativo en la literatura al esbozar una hoja de ruta integral que comprende cuatro fases principales: el estudio de viabilidad, la agregación de miembros, la fase operativa y la gestión técnico-económica. Este enfoque estructurado se adaptó a diversos contextos regulatorios y objetivos de proyectos, proporcionando una valiosa orientación para el establecimiento y el funcionamiento de REC en toda Europa. Azarova et al. [30] investigaron la aceptación social de los sistemas de energía renovable y encontraron que las granjas solares y la infraestructura de energía a gas aumentan la aceptación de las comunidades energéticas locales, abordando las brechas en la literatura existente mediante la evaluación de las transformaciones integrales y el impacto de la tecnología de energía a gas.

El cumplimiento de los objetivos energéticos y climáticos es un esfuerzo colectivo emprendido por las comunidades energéticas en consonancia con las directivas y políticas de la UE [31]. Al contribuir a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, aumentar la cuota de energías renovables en la combinación energética y promover medidas de eficiencia energética, las comunidades energéticas desempeñan un papel crucial en el avance de los objetivos energéticos y climáticos de la UE.

Los marcos legislativos de la UE, como la Directiva sobre fuentes de energía renovables (RED II), la Directiva sobre eficiencia energética, el Reglamento sobre la gobernanza de la Unión de la Energía y la Directiva sobre el mercado interior de la electricidad, proporcionan apoyo e incentivos para el establecimiento y el funcionamiento de comunidades energéticas [32].

5.2. ESTUDIO Y ANÁLISIS DE UN CASO CEL REAL

El estudio presentado en este trabajo de I+D de una CEL es muy innovador, ya que no existe ninguna experiencia previa de autoconsumo colectivo en España con condiciones de red propias, y mucho menos de almacenamiento colectivo del consumo de los individuos debido a que a medida que aumenta la penetración de las energías renovables, la necesidad de almacenamiento de energía se vuelve primordial para abordar la intermitencia y la variabilidad inherentes a fuentes renovables. Los sistemas de almacenamiento eficientes permiten la retención y utilización de los excedentes de energía durante los períodos de baja generación, lo que garantiza un suministro de energía estable. Esta investigación se centra en el análisis de los patrones de generación y consumo de energía dentro de comunidades energéticas reales, utilizando datos de una comunidad de 33 kWn de capacidad en Berrobi, Gipuzkoa, recopilados durante un período de un año.

La CEL de estudio, objeto de investigación corresponde a la comunidad energética conocida como CEL de Berrobi, que comprende un sistema integrado de almacenamiento de energía vinculado a una instalación fotovoltaica (PV) que opera en un marco de autoconsumo colectivo.

Este sistema fotovoltaico abastece principalmente a consumidores domésticos, principalmente del municipio de Berrobi (País Vasco), cada uno de los cuales tiene una participación en la instalación fotovoltaica de 0,5 kWp, lo que equivale aproximadamente a un módulo fotovoltaico. El objetivo principal del sistema de almacenamiento es optimizar la mitigación de las descargas fotovoltaicas, definidas como excedentes. Habrá un sistema de control ad hoc para plantas fotovoltaicas con baterías destinadas al autoconsumo colectivo. Figuras 55 - 56.

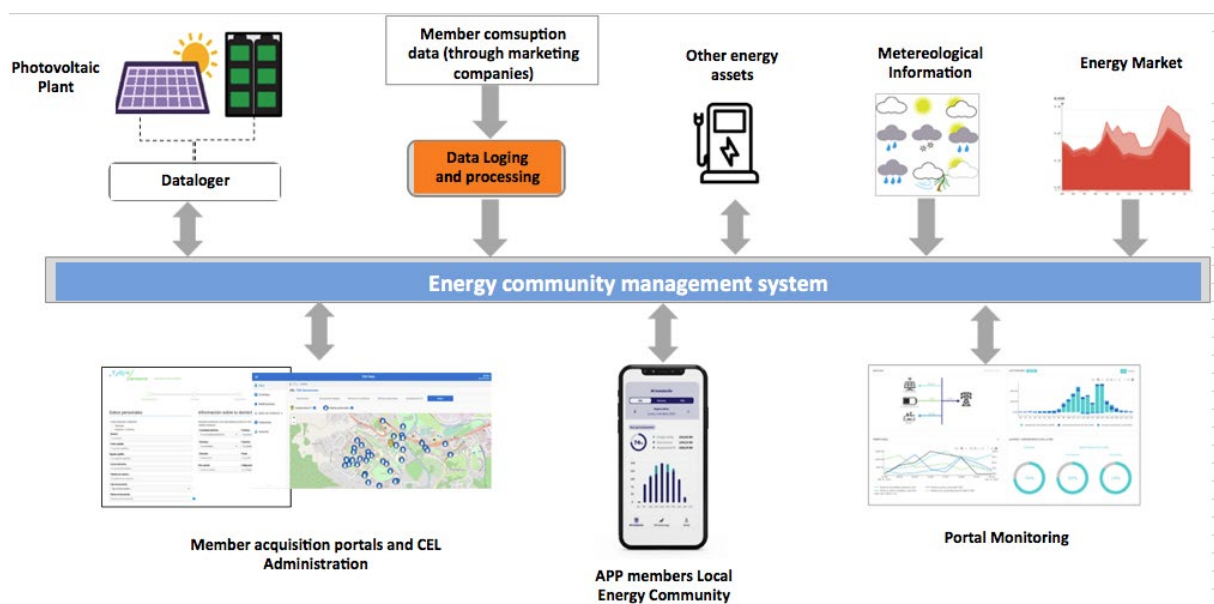


Figura 55: Sistema de gestión CEL de Berrobi. (Elaboración propia)

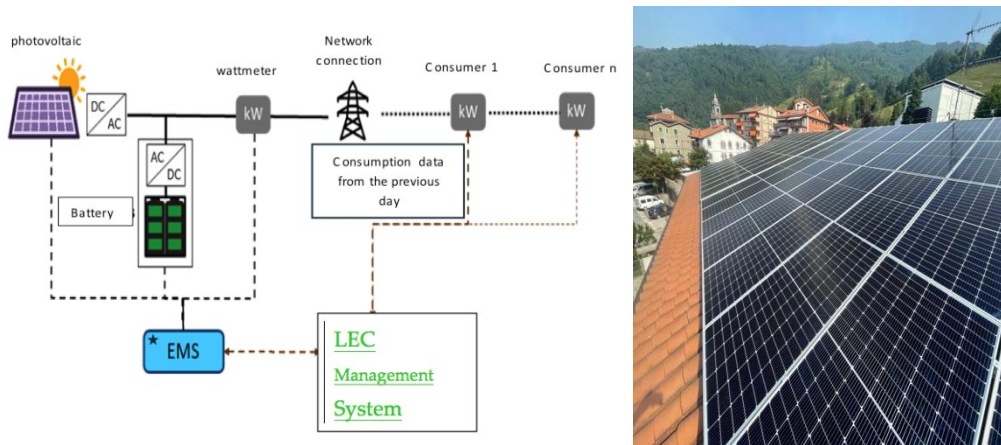


Figura 56: Sistema de control de la planta fotovoltaica con baterías para autoconsumo colectivo. Sistema fotovoltaico CEL de Berroni. *[Elaboración propia]*

las instalaciones de Berrobi CEL emplean actualmente un controlador que actúa como registrador de datos para el seguimiento en tiempo real de la planta fotovoltaica (PV). El firmware de este controlador se modificará y actualizará para pasar a un sistema de gestión de energía (EMS), destinado a dirigir el funcionamiento de la planta fotovoltaica junto con las unidades de almacenamiento de baterías. El EMS se someterá a calibración y ajuste mediante los siguientes pasos:

- Regulación de la inyección de energía: garantizar el cumplimiento de los límites de potencia contratados en el punto de conexión por parte de la planta fotovoltaica, evitando la inyección de energía excedente a la red.
- Optimización de la carga de baterías: Carga estratégica de la batería durante periodos de alta generación fotovoltaica y baja demanda, con variaciones de tiempo influenciadas por fluctuaciones estacionales. Los análisis de datos derivados de patrones de consumo y análisis estadísticos informan este proceso de optimización.
- Descarga de baterías según la demanda: Descargar la batería durante los periodos de mayor consumo cuando la generación fotovoltaica es insuficiente, priorizando la descarga gradual para maximizar el aprovechamiento energético y evitar excedentes de producción. Además, el momento de la descarga puede alinearse con los períodos de mayor costo energético para optimizar tanto la eficiencia energética como la económica.
- Ajuste coordinado del EMS y los coeficientes de reparto de generación: asegurando la sincronización entre la lógica de control del EMS y los coeficientes de reparto de generación que rigen los sistemas fotovoltaicos y de baterías.
- Ajuste periódico del EMS y los coeficientes de distribución: ajuste interactivo de los parámetros del EMS y los coeficientes de distribución para adaptarse a las variaciones en la demografía de los consumidores y los perfiles de consumo, la optimización de la gestión de excedentes y los cambios en el mercado eléctrico y la dinámica del sistema.

- Estos ajustes son esenciales para mantener la eficiencia operativa, optimizar la utilización de energía y alinear el desempeño de la instalación con las demandas cambiantes del mercado y de los consumidores.

La Tabla 12 muestra datos clave relacionados tanto con la instalación fotovoltaica como con el sistema de almacenamiento asociado implementado dentro del marco operativo de esta CEL.

Tabla 12: Instalación fotovoltaica de autoconsumo colectivo. (Elaboración propia)

Características de la instalación	Información
Potencia instalada fotovoltaica	40.48 kWp (88 modules JAM72S20 de 460 Wp)
Potencia Nominal (Conexión Red eléctrica)	33 kW (Ingecon Sun 3 Play 33TL M)
Tipo de instalación	Coplanar on tile roof
Azimuth	25°
Inclinación	15°
Annual productivity (PVGIS)	1073 kWh/year
Fecha activación autoconsumo	23 Junio
Régimen de funcionamiento	Autoconsumo colectivo y compensación simplificada

Se puede utilizar, como herramienta de cálculo el software PVGIS que nos permite realizar simulaciones estadísticas, y generar predicciones precisas de las curvas de producción de energía. Estas curvas predictivas dependen de varios factores, incluido el posicionamiento geográfico de los módulos solares, la configuración espacial de los módulos (por ejemplo, ángulo de inclinación y azimut), las especificaciones técnicas de los módulos, la cantidad de módulos desplegados y la eficiencia de inversores utilizados.

Sin embargo, en nuestro estudio se han obtenido las curvas de producción (generación) de energía a través de datos empíricos obtenidos de la CEL, proporcionados por la empresa EDINOR.

Para ello se utilizará la siguiente notación para identificar los datos de generación de nuestra base de datos, explicando las operaciones matemáticas realizadas en este estudio: , donde “G” es la energía eléctrica generada en Wh; “c” es el identificador del cliente (con valores entre 1 y 17); “m” es el mes del estudio (con valores del 1 (mayo de 2022) al 12 (mayo de 2023)); “d” es el día del mes (con valores del 1 al 31); y “h” es el intervalo horario de generación (con valores de 1 (00:00 h a 01:00 h) a 24 (23:00 h a 00:00 h)).

Por ejemplo, para reflejar la energía producida por el cliente 2 en el octavo mes del estudio y el día 5 de ese mes en el intervalo de 11:01 h a 12:00 h. Para obtener la energía total producida por ese cliente durante ese día, se suma toda la energía producida durante el día:

$$\sum_{h=1}^{24} G_h = 1138 \text{ Wh}$$

Si se requiere obtener todo lo producido por el cliente 2 en el mes 8:

$$\sum_{d=1}^{31} \sum_{h=1}^{24} G_{h,d} = 17437 \text{ Wh}$$

Es importante considerar que este estudio requiere comparar la generación y el consumo de energía en cada intervalo horario debido a que el almacenamiento de energía depende del exceso de generación de energía en cada intervalo.

En la Figura 59 se muestra el patrón de **generación de energía** por hora del sistema fotovoltaico, destacando un pico de producción de energía superior a los 250 Wh, registrado exactamente a las 13:00 horas. Durante el periodo de 15:00 h a 17:00 h se observó una notable disminución en la generación de energía. Esta disminución se atribuye a diversos factores externos, como cambios en las condiciones climáticas y la presencia de nubosidad. Estas variables ambientales pueden afectar significativamente la eficiencia de los paneles solares, provocando fluctuaciones en la producción de energía durante este período.

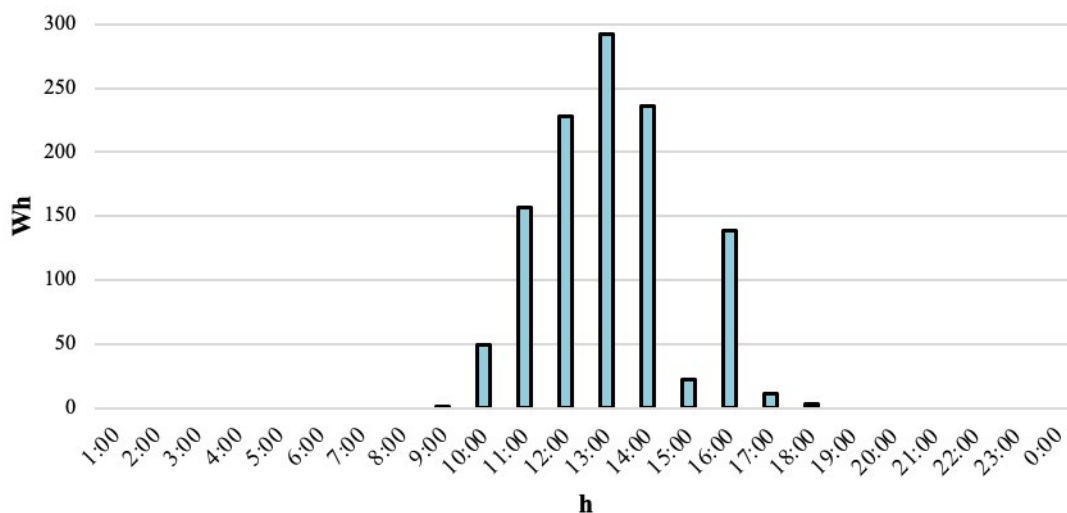


Figura 57: Generación de energía Wh por el sistema fotovoltaico por hora. (Elaboración propia)

Al emplear esta notación y metodología, resulta factible discernir tanto los patrones de consumo individuales de cada consumidor como el comportamiento agregado a nivel macroscópico de la CEL. El perfil de generación de energía promedio de cada consumidor dentro del CEL en intervalos de tiempo discretos se puede derivar usando la siguiente expresión matemática:

$$G_{med}(h) = \left(\sum_c \left(\sum_m \frac{\sum_{a.m.d} G_h}{a} \right) \frac{1}{m} \right) \frac{1}{c}$$

En la figura 58 se muestra el G_{med} en cada intervalo de tiempo (un día), mostrando así la generación promedio por cliente del rendimiento de CEL.

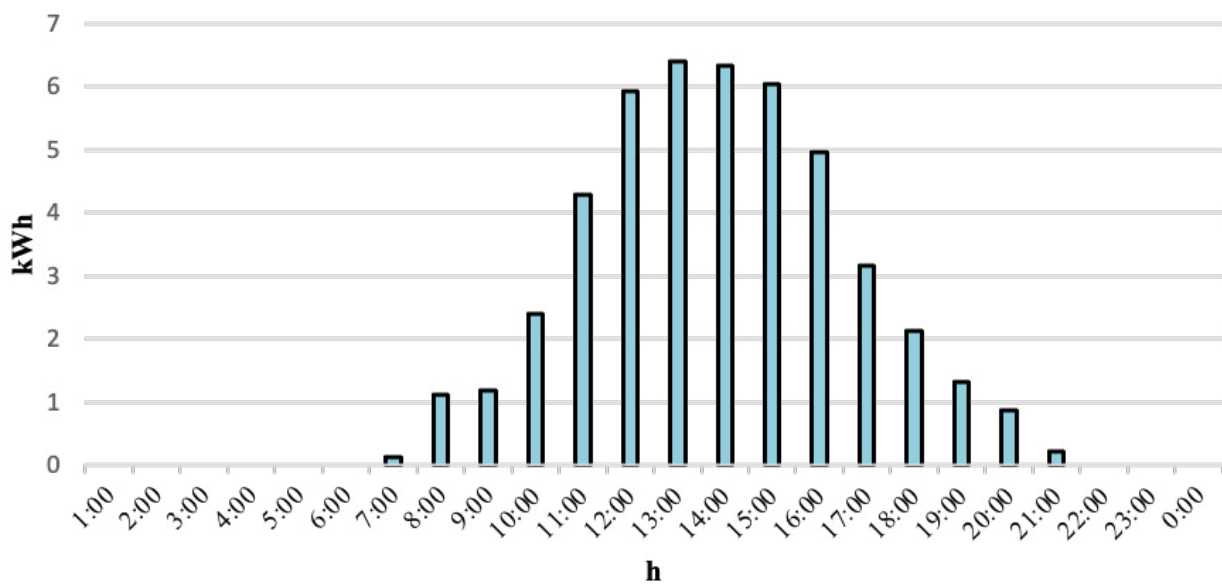


Figura 58: Generación de energía kWh del cliente CEL promedio en un intervalo de un día. [Elaboración propia]

En la Figura 60, también se muestran datos sobre la distribución temporal de la generación de energía solar fotovoltaica (PV) a lo largo del día, destacando los períodos pico de generación. El análisis revela un pico significativo que supera los 6 kWh, observado entre las 12:00 h a 15:00 h. Esta información detallada sobre los tiempos pico de generación es importante para optimizar la programación del consumo, maximizando así la eficiencia del sistema y minimizando los requisitos de almacenamiento.

El **sistema de almacenamiento** diseñado para esta instalación fotovoltaica comprende un conjunto de baterías de iones de litio de alto voltaje, un inversor que facilita la carga y descarga de la batería y un sistema de control. En concreto, se propone su implementación baterías Pylontech. La Tabla 13 detalla las especificaciones principales del sistema de almacenamiento de energía integrado con la configuración fotovoltaica, mientras que la Tabla 14 describe los indicadores clave de rendimiento anticipados de su operación junto con el conjunto fotovoltaico.

Tabla 13: Sistema de almacenamiento de energía del sistema fotovoltaico. (Elaboración propia)

Sistema de almacenamiento energético	Características
Potencia	20 kW
Capacidad energía	57.6 kWh
Tipo	Lithium Ion
Ciclos	5000 ciclos
Garantía	10 años
Rendimiento ciclo	90%
Capacidad al final de la garantía (indicada en la garantía)	70%
Capacidad estimada después del período de garantía basada en el uso real	85%

La evaluación de la eficiencia energética es fundamental para evaluar el rendimiento de los sistemas de almacenamiento de energía, en particular las baterías. La eficiencia, o eficiencia del ciclo, se define como la relación entre la energía descargada y la energía cargada por la batería, expresada en porcentaje. Este cálculo considera tanto la eficiencia del ciclo inherente de las baterías, estimada en 96%, como la eficiencia del ciclo del inversor, estimada en 97% tanto para operaciones de carga como de descarga.

Las garantías de los productos suelen especificar la capacidad al final de su vida útil como capacidad garantizada. Sin embargo, la capacidad restante al final de su vida útil depende de variables como los patrones de uso, las condiciones ambientales y el tiempo transcurrido. Por lo tanto, este cálculo se basa en el uso estimado de la batería y las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante. Estas consideraciones son esenciales para comprender de manera integral y evaluar con precisión el rendimiento y la vida útil de las baterías en aplicaciones de almacenamiento de energía.

Tabla 14: Indicadores de funcionamiento fotovoltaicos y de almacenamiento. (Elaboración propia)

Indicators	NO Battery	Battery
Ratio de autoconsumo	67%	91%
Excedente (%)	33%	9%
Reducción de excedentes	-	24%
Reducción porcentual del superávit	-	72%
Número de ciclos anuales de la batería	-	178
Energía almacenada anual	-	10.658 kWh

Los ciclos equivalentes al 100 % de la capacidad representan el número total de ciclos completos de carga y descarga que una batería puede soportar manteniendo su capacidad nominal máxima. Esta métrica desempeña un papel fundamental en la evaluación de la longevidad y la resistencia de una batería, ofreciendo información valiosa sobre su capacidad para mantener el máximo rendimiento durante toda su vida útil operativa.

El potencial de reducción del excedente puede aumentar en el futuro, alcanzando potencialmente una reducción del 100% mediante la integración sinérgica de los sistemas de almacenamiento y control mencionados. Además, este resultado podría verse facilitado aún más por las capacidades inherentes de gestión de la energía que se ofrecen a los consumidores individuales, capacitándolos para tomar decisiones informadas y, por lo tanto, aumentar su autoconsumo directo de la energía generada. Además, la implementación de coeficientes dinámicos, supeditados a disposiciones regulatorias, mejorará la agilidad operativa y la eficiencia dentro del sistema.

A diferencia de un estudio de investigación de almacenamiento vinculado a una instalación de autoconsumo individual, el presente esfuerzo plantea desafíos únicos en lo que respecta a un modelo de autoconsumo colectivo, que beneficia a todos los miembros de la CEL. En consecuencia, el tamaño del sistema de almacenamiento y las métricas operativas delineadas en las tablas anteriores se calcularon meticulosamente para adaptarse a los patrones de consumo colectivo en lugar de los de un autoconsumidor. Para lograr esto, se examinaron y analizaron sistemáticamente diversos perfiles de consumidores, informando los cálculos de tamaño y métricas basados en los datos agregados o promedio representativos de la CEL.

Resultados y discusión

El Consumo energético de la CEL Berrobi se ha delimitado en tres perfiles distintos de consumidores de energía, caracterizados por consumos anuales de 1.500, 2.000 y 2.500 kWh, respectivamente. Estos perfiles exhiben distribuciones de consumo del 15%, 50% y 35%, respectivamente. Mediante un análisis riguroso, el tamaño de la batería y los efectos de mitigación excedentes se examinaron individualmente para cada perfil. Posteriormente se calcularon indicadores promedio ponderados, tomando en consideración la representación proporcional de cada tipo de consumidor dentro de la CEL. Los resultados se resumen en la Tabla 15.

Tabla 15: Indicadores de funcionamiento fotovoltaicos y de almacenamiento por cliente. (Elaboración propia)

Clientes	Indicadores	Sin Batería	Batería
1500 kWh/año (15% de clientes)	Ratio de autoconsumo	56%	85%
	Excedentes (%)	44%	15%
	Reducción de excedentes	-	29%
	Reducción porcentual del excedente	-	65%
2000 kWh/año (50% de consumidores)	Ratio de autoconsumo	65%	90%
	Excedente (%)	35%	10%
	Reducción de excedentes	-	25%
	Reducción porcentual de excedentes	-	71%
2500 kWh/año (35% de consumidores)	Ratio de autoconsumo	76%	95
	Excedente (%)	24%	5%
	Reducción de excedentes	-	19%
	Reducción porcentual del excedente	-	79%
Promedio ponderado de los clientes	Ratio de autoconsumo	67%	91%
	Excedente (%)	33%	9%
	Reducción excedentes	-	24%
	Reducción porcentual de excedentes	-	72%

Las figuras 61 y 62 muestran las curvas de potencia eléctrica que delimitan un día típico de mayo y la trayectoria de descarga anual para un tipo de consumidor específico en el marco del autoconsumo colectivo de Berrobi. Cabe mencionar que, como tendencia general, cada consumidor contribuye a la iniciativa de autoconsumo colectivo con capacidades de generación equivalentes a 0,5 kWp. La Figura 61 proporciona una descripción ilustrativa de los patrones de consumo de energía para una categoría de consumidores designada en Berrobi, centrándose específicamente en un día típico de mayo.

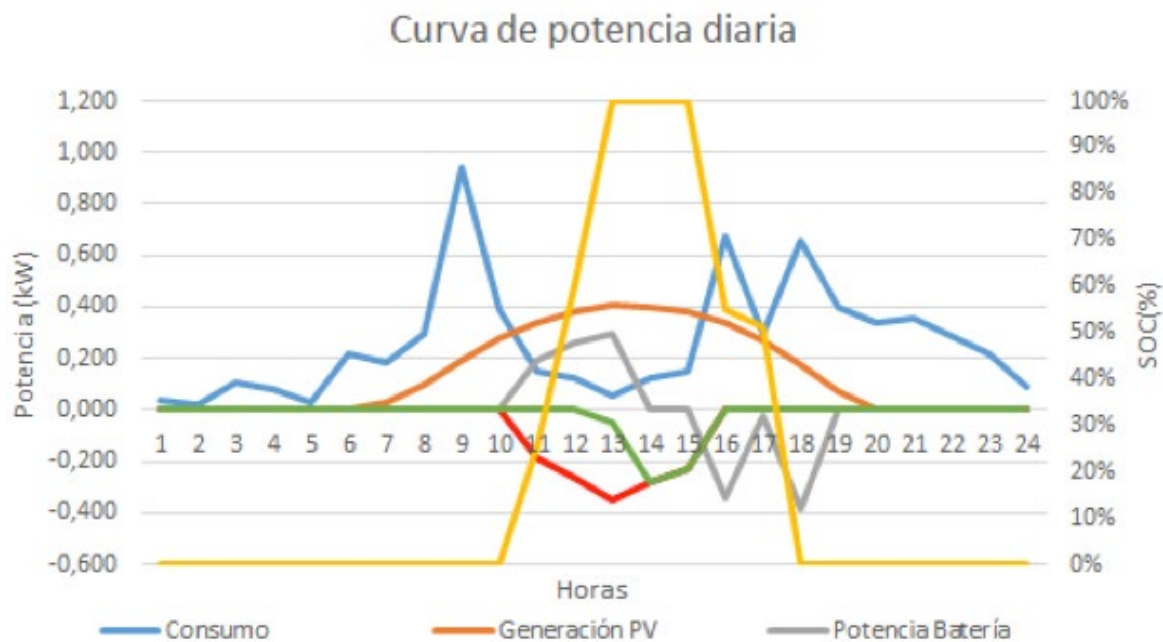


Figura 59: Curva de potencia que representa el perfil de generación de energía diaria durante un día de mayo para un consumidor dentro de la comunidad energética de Berrobi. (Elaboración propia)

En particular, la Figura 59 muestra la pronunciada reducción del excedente de energía descargada a la red facilitada por las baterías, optimizando al mismo tiempo la utilización de la energía fotovoltaica y mostrando el porcentaje de su estado de carga (SOC).

Como se observa en la figura 59, entre las 10:00 h y las 13:00 h se registra un excedente de generación que no se reinvierte a la red eléctrica, sino que se almacena. A partir de las 13:00 h, aunque la generación continúa, la batería ya ha alcanzado su capacidad máxima y el excedente se redirige a la red. Este patrón persiste hasta aproximadamente las 15:00 h. Posteriormente, entre las 15:00 h y las 17:00 h, la generación supera el consumo y la batería suministra la energía necesaria. A las 18:00 h, la producción comienza a disminuir y la batería está completamente descargada, como se refleja en la caída del estado de carga (SOC).

La Figura 60 muestra un histograma que delinea la distribución de frecuencia de la producción excedente de energía eléctrica a lo largo del año. El gráfico aclara el número de horas al año en las que el excedente de energía se descarga a la red debido al uso de la batería. Es discernible que la implementación de sistemas de baterías puede disminuir el conteo de horas anuales caracterizadas por la exportación excedente de energía. Se demuestra que la integración de baterías permite un dimensionamiento más preciso entre la producción y la demanda de energía de los distintos usuarios de la red, logrando un equilibrio óptimo entre la producción y el consumo individual.

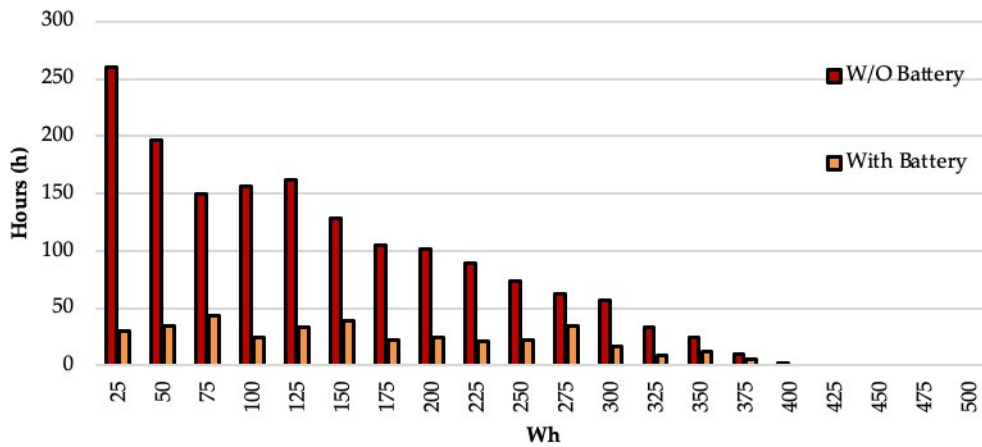


Figura 60: Descargas anuales de la red incurridas por un consumidor individual. (Elaboración propia)

La magnitud del **consumo de energía** dentro del CEL depende del tipo o categoría de cliente. Empleando una metodología similar a la utilizada para el análisis de generación de energía, se examinaron los datos del consumo de energía. A partir de los datos observados, los 18 clientes se pueden clasificar en tres grupos distintos: clientes domésticos, industriales y comerciales.

Teniendo en cuenta la naturaleza dinámica de las interacciones de los participantes dentro de una CEL, se llevó a cabo un estudio comparativo de los patrones de comportamiento entre los distintos miembros que componen una CEL. Esta investigación permitió identificar y analizar las complejas interrelaciones que surgen, particularmente a través del sistema de tarifas de alimentación y las estrategias de almacenamiento de energía. Un análisis de este tipo es crucial para optimizar la gestión y la eficiencia operativa de los CEL, así como para promover un modelo energético más sostenible y participativo. El objetivo principal del sistema de almacenamiento será maximizar la reducción de los derrames fotovoltaicos (energía producida pero no consumida en la misma hora en que se genera), asegurando así un mejor aprovechamiento de la energía fotovoltaica generada.

El segmento de los hogares representa la principal base de consumidores dentro de la comunidad energética. Este grupo suele exhibir niveles de consumo de energía moderados, sin cargas base consistentes o demandas máximas extremadamente altas. En particular, los picos de consumo de energía se observan durante las primeras horas de la mañana, comenzando entre las 7:00 h y las 8:00 h, y por la noche, abarcando desde las 8:00 h a 10:00 h, como se muestra en la figura 61 para un día medio. Un atributo inherente de los consumidores domésticos es la imprevisibilidad inherente de sus patrones mensuales de consumo de energía, lo que genera requisitos esporádicos de almacenamiento de energía.

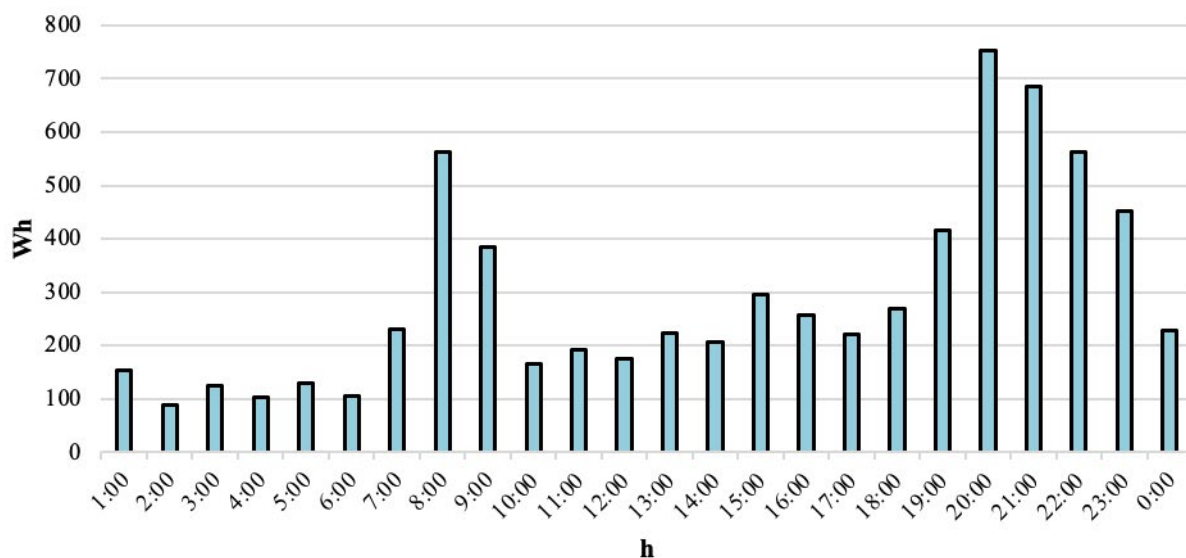


Figura 61: Consumo medio diario de energía para clientes residenciales. [Elaboración propia]

La base de usuarios residenciales dentro de la comunidad energética local (CEL) se caracteriza por una falta de cargas base significativas o picos de demanda excesivamente altos. Los aumentos notables del consumo se suelen registrar durante las horas de la mañana, entre las 7:00 h y las 8:00 h, y por la noche, entre las 20:00 h y las 22:00 h. Es muy probable que estos usuarios representen el segmento predominante no sólo en el presente estudio de caso sino también en todo el espectro más amplio de CEL en proceso de formación. Tras un análisis más detallado, estos consumidores pueden ser percibidos como impredecibles, particularmente debido a la variabilidad mensual en sus patrones de consumo, los cuales pueden fluctuar significativamente debido a factores externos ajenos a la dinámica del CEL, como las vacaciones familiares. Tales variaciones inducen requisitos aleatorios en el almacenamiento de energía, lo que plantea desafíos para la gestión eficiente de los recursos dentro del CEL.

Los clientes industriales se distinguen por sus elevados niveles de consumo de energía base y sus notables picos de demanda de energía, que suelen coincidir con las horas de funcionamiento. Además, sus patrones de consumo de energía tienden a exhibir un alto grado de regularidad, ya que están dictados por procesos de producción establecidos. En consecuencia, estas curvas de consumo de energía, suelen demostrar consistencia en diferentes períodos del año, como se muestra en la Figura 62.

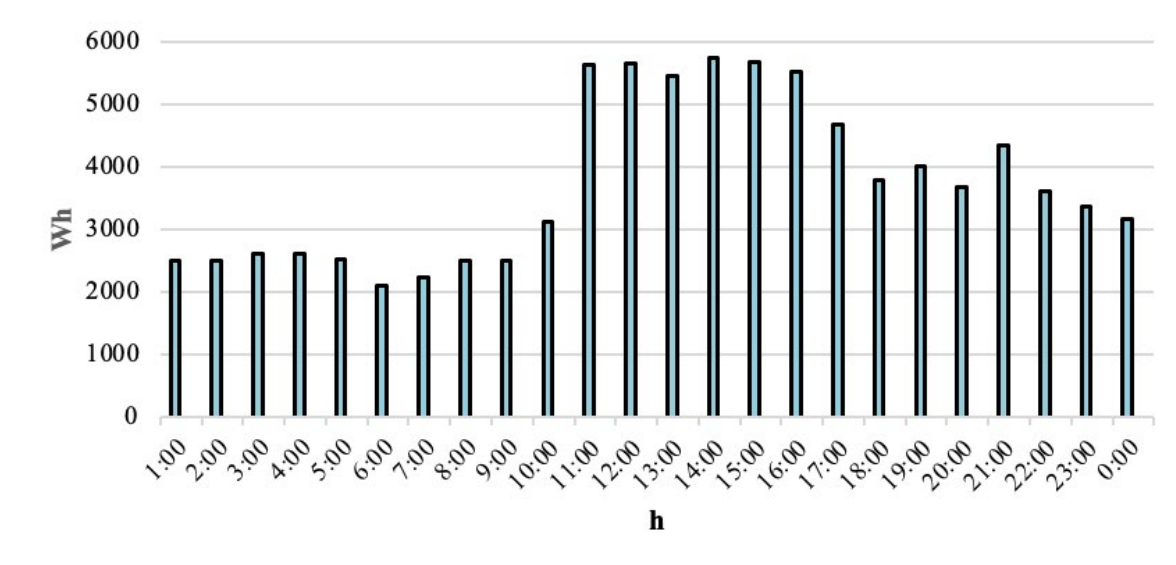


Figura 62: Patrones de consumo de energía diario de los clientes industriales. *[Elaboración propia]*

Las entidades industriales objeto de estudio se caracterizan por niveles significativos de consumo energético base y la presencia de picos de demanda pronunciados. Estos socios contribuyen a estabilizar las curvas de consumo, facilitando así la predicción y aseguramiento de los patrones de consumo necesarios para la evaluación efectiva de las estrategias de almacenamiento de energía. Además, es imperativo que dichos socios mantengan un compromiso con la confiabilidad en la prestación del servicio y el funcionamiento integral de la CEL, asegurando así la continuidad y eficacia del sistema.

Una ventaja significativa de los socios industriales dentro de los CEL reside en la coherencia de sus patrones de consumo una vez que se ha establecido el comportamiento histórico. Estos patrones tienden a permanecer estables en el tiempo, excepto en circunstancias en las que surgen problemas operativos o se implementan cambios en los procesos internos de la industria. Por otro lado, las desventajas asociadas con los clientes industriales se manifiestan inicialmente en la dificultad de predecir el consumo de energía en ausencia de datos empíricos específicos o referencias de industrias análogas. Además, debido a los elevados niveles de consumo característicos de estos clientes, cualquier anomalía o modificación en sus procedimientos internos puede provocar importantes desequilibrios en la dinámica energética del CEL. Este fenómeno subraya la importancia del seguimiento y la gestión detallados del consumo industrial para mantener la estabilidad general de la comunidad.

El cliente comercial dentro de la CEL está delimitado por patrones de consumo de energía asociados principalmente con actividades comerciales como aire acondicionado, iluminación y refrigeración. Este consumo se caracteriza por un horario diario que se alinea estrechamente con el horario de funcionamiento, que normalmente abarca de 8:00 h a 23:00 h. El perfil de consumo de las entidades comerciales muestra una naturaleza relativamente uniforme y predecible, como se muestra en la Figura 63.

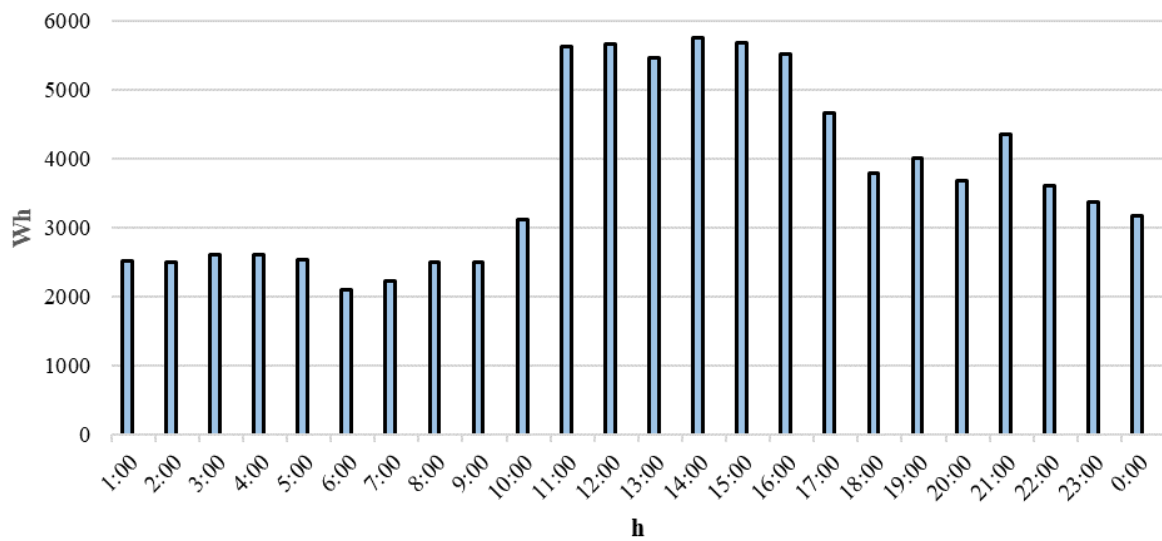


Figura 63: Consumo medio diario de energía para clientes comerciales. (Elaboración propia)

La tipología de consumidores comerciales ha sido identificada como particularmente propicia para la integración con los usuarios residenciales, debido a la complementariedad observada en sus respectivas curvas de consumo de energía. Específicamente, el uso estratégico del almacenamiento de energía por parte de los consumidores comerciales, predominantemente durante los períodos pico, significa un alto grado de autosuficiencia. Esta característica se manifiesta claramente al contrastar sus curvas de producción y consumo, indicativas de la gestión eficiente y autónoma de sus recursos energéticos.

Análisis del Consumo y Generación de Energía en la CEL

Tras el análisis de las métricas de desempeño derivadas de los datos de generación y consumo de energía de la comunidad energética durante un año de operación, se obtuvieron los siguientes resultados de desempeño diario promedio anual, como se muestra en la Figura 64.

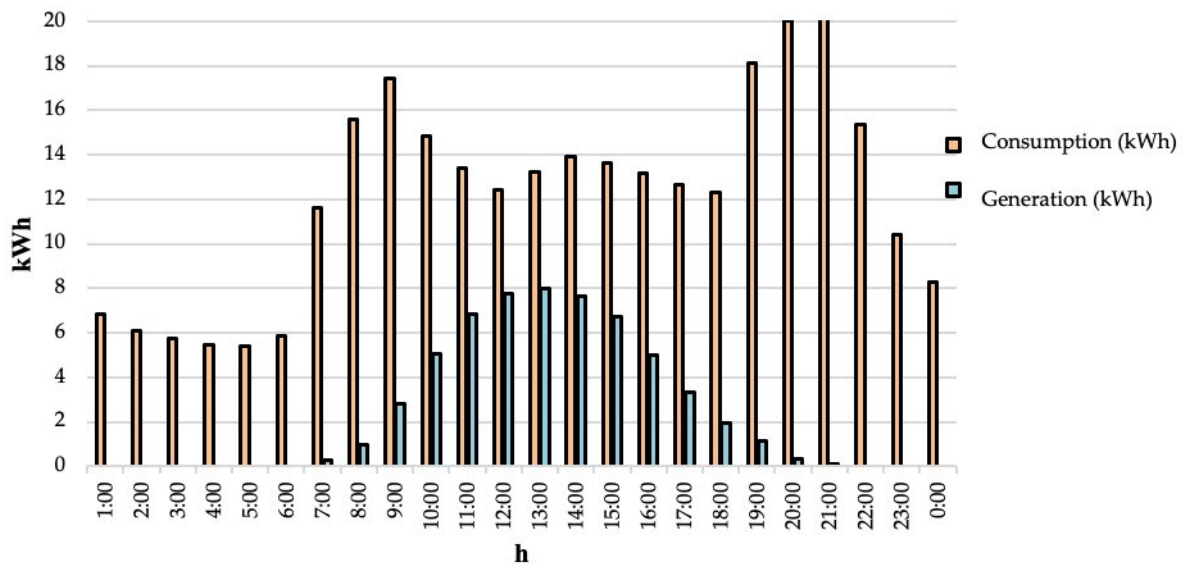


Figura 64: Consumo energético y generación media diaria anual dentro de la CEL. [Elaboración propia]

Como se muestra en la Figura 64 el patrón de consumo de energía de los clientes domésticos dentro del CEL muestra picos significativos durante el horario de 7:00 h a 21:00 h y 19:00 h a 22:00 h. En particular, el consumo total de energía de la CEL supera su capacidad de generación, pero persiste el excedente de generación. Este excedente surge debido a la subdivisión de la CEL en derechos de participación, donde cada cliente posee una parte proporcional de la energía generada. Cualquier exceso de energía no consumida por los clientes individuales se envía posteriormente a la red eléctrica para su venta individual.

Como se indicó anteriormente, la CEL comprende una proporción importante de clientes residenciales, cuyos patrones de consumo se caracterizan por picos matutinos entre las 7:00 h y 8:00 h y picos vespertinos entre las 19:00 h y 21:00 h y 22:00 h. A pesar de que el consumo agregado de la comunidad supera la generación total, se observan excedentes de producción. Este fenómeno se atribuye a la estructura de la CEL, donde los derechos de participación están fragmentados, otorgando a cada cliente un porcentaje del total de la energía generada. En los casos en que un cliente no consume su parte asignada, el excedente se comercializa individualmente en la red. En consecuencia, si bien el CEL muestra un equilibrio negativo entre generación y consumo, hay clientes individuales que no agotan su porción generada, lo que subraya la complejidad de gestionar la distribución de energía en dichas comunidades.

Predecir el consumo de energía individual y colectivo dentro de un CEL presenta una complejidad inherente, especialmente en ausencia de datos históricos detallados. La diversidad de perfiles de clientes contribuye a esta complejidad, lo que hace que la estimación del consumo general de la comunidad sea una tarea desafiante. Por lo tanto, es fundamental que los administradores de CEL y

las entidades interesadas en realizar estudios de viabilidad de almacenamiento cuenten con registros históricos completos del consumo de energía. Estos registros no sólo deberían reflejar el consumo pasado sino también la composición demográfica y comercial de la comunidad, permitiendo una inferencia más precisa del comportamiento energético futuro. En este contexto, las bases de datos de clientes emergen como un recurso crítico, proporcionando la infraestructura necesaria para un análisis y proyección en profundidad de los excedentes energéticos, elementos decisivos en la planificación y gestión de los flujos energéticos futuros.

$$m,dE_h = m,dG_h - m,dC_h$$

siendo

$$m,dE_h \geq 0$$

La Figura 65 muestra la proporción mensual de energía generada dentro del CEL que permanece sin utilizar por los clientes. Es destacable que, en promedio anualmente, aproximadamente el 23% (o casi una cuarta parte) de la energía generada dentro del CEL no se utiliza.

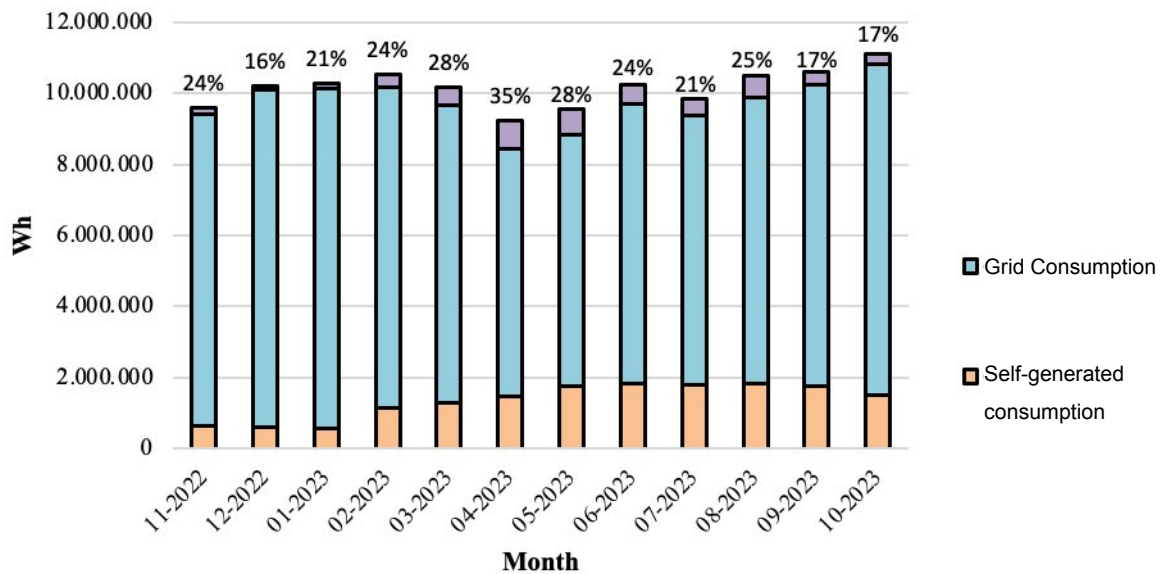


Figura 65: Consumo autogenerado (naranja), consumo de red (azul) y energía no utilizada dentro de la CEL (morado). (Elaboración propia)

Al comprobar el excedente de capacidad de generación de energía, el análisis de los datos sugiere que la inversión óptima, una vez considerada la variabilidad estacional, pasa por dimensionar un sistema de almacenamiento en baterías para optimizar el uso de la energía generada tanto durante el período estival como invernal. Se concluye que si el sistema de almacenamiento fuera dimensionado para

acomodar el volumen máximo de excedentes, su tasa de utilización estaría por debajo de la unidad, ya que la utilización total del sistema al 100% solo se lograría durante los días de máxima producción excedente. Por lo tanto, se propone un enfoque de dimensionamiento que equilibre la capacidad de almacenamiento con la frecuencia de generación excedente, asegurando una utilización más eficiente y sostenible del sistema durante todo el año. Con respecto a los excedentes de energía agregados en cada mes dentro del CEL, como se muestra en la Figura 66, es evidente un patrón estacional distinto en la generación excedente. Los meses caracterizados por una mayor exposición solar exhiben excedentes que superan el doble en comparación con los meses marcados por una menor generación de energía solar.

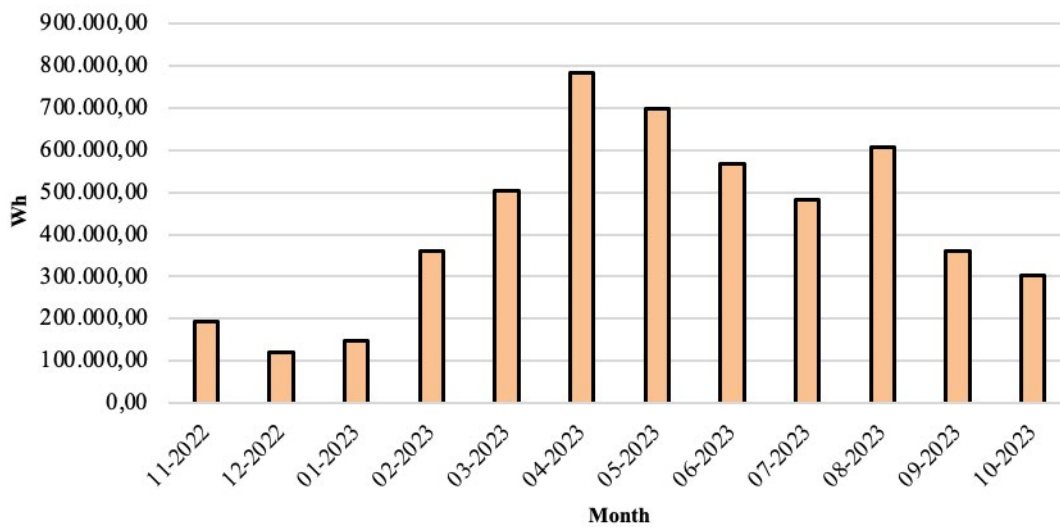


Figura 66: Excedentes mensuales de generación de energía dentro de la CEL. (Elaboración propia)

Evaluación financiera de la instalación

El sistema fotovoltaico instalado en Berrobi CEL opera dentro de un marco de autoconsumo colectivo caracterizado por la generación de energía excedente y mecanismos de compensación simplificados. El beneficio económico derivado de evitar el excedente está determinado por la disparidad entre el costo por kWh de consumo de energía y la compensación recibida por el excedente de energía reinvertido en la red.

El costo por kWh consumido se calcula como el producto de la suma de los costos de energía, tarifas, cargos e impuesto eléctrico multiplicada por el impuesto al valor agregado (IVA). El precio del kWh de energía excedente se determina multiplicando el precio excedente por el impuesto eléctrico y el IVA. Por el contrario, el coste asociado a cada kWh gestionado por la batería a lo largo de su vida útil se calcula utilizando la metodología de coste nivelado de almacenamiento (LCOS).

$$LCOS = \frac{CAPEX + \sum_{i=1}^n OPEX_i}{\sum_{i=1}^n Discharged\ Energy}$$

donde

- n: número de años de vida útil;
- OPEX: gastos operativos, que comprenden los costos de mantenimiento y las pérdidas atribuibles a la eficiencia del ciclo de las baterías.

En consecuencia, para que las baterías produzcan rentabilidad, es imperativo que se cumpla la siguiente relación:

$$(Surplus\ kWh\ Price + LCOS) < Cost\ of\ kWh\ consumed$$

Utilizando el modelo económico y el conjunto de datos posterior que se proporciona a continuación, se evaluó la viabilidad económica del proyecto con base en los datos iniciales, como se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16: Datos de partida de la batería. (Elaboración propia)

Characteristics	Value
Battery capacity	60 kWh
Final capacity	70%
DOD	90%
Life Cycles	6000
Service life	20 years
Cycle performance	90%
CAPEX	780 EUR/kWh
OPEX year	150 EUR/year
% Subsidy	0,75
Energy price	0.070 EUR/kWh
Surplus price	0.049 EUR/kWh
Tolls and Fees	0.079 EUR/kWh
Electricity tax	5,.1%
VAT	21%

Los peajes y cargos medios incurridos durante las horas de descarga de la batería se determinan calculando el valor medio de dichos cargos. Para este cálculo, se utilizaron valores de referencia de 2021, ya que las intervenciones gubernamentales en 2022 y 2023 produjeron reducciones en los cargos como parte de los esfuerzos de mitigación para aliviar las repercusiones del conflicto en Ucrania.

Como se muestra en la tabla, durante el período de estudio se utilizó un precio medio de la energía de 70 EUR por megavatio-hora (MWh), lo que se sitúa por debajo del coste energético vigente. Para la estimación del excedente de costes se consideró una tarifa equivalente al 70% del coste de la energía, ascendiendo a 49 euros por MWh. Aprovechando estos parámetros junto con las especificaciones de la batería y el índice de utilización (177 ciclos por año), se realizaron análisis económicos que arrojaron los resultados detallados en la Tabla 17.

Tabla 17: Costes económicos del CEL por kWh. (Elaboración propia)

Costes	EUR/kWh
Consumd kWh	0.1817
Surplus kWh	0.059
LCOS	0.097

Como se demuestra, con una subvención del 75% de la inversión, sin incluir los costes financieros, el sistema de almacenamiento de energía demuestra viabilidad económica. En particular, la disparidad entre el coste de la energía y el precio de compensación del excedente se sitúa en 0,12 EUR/kWh, mientras que el LCOS asciende a 0,097 EUR/kWh. En consecuencia, la intensidad mínima de subsidio requerida para la viabilidad del proyecto (excluyendo los costos financieros) sería del 67%.

La viabilidad económica del proyecto se puede asegurar mediante el establecimiento de un modelo financieramente solvente facilitado por la colaboración con una institución financiera, en este caso, la entidad financiera antes mencionada. Según este acuerdo, la CEL obtendría financiación a 10 años en condiciones preferenciales que cubrirían el 100% del coste del proyecto. Es importante destacar que es la CEL la que solicita el financiamiento, no los socios individuales, lo que permite cumplir con el requisito estipulado de libre salida.

Este estudio reveló que la capacidad de almacenamiento debería soportar una capacidad anual promedio del 23%, observándose fluctuaciones donde esta capacidad puede duplicarse o reducirse a un mínimo en ciertos meses.

Considerando los precios y costos actuales, se determinó que bajo la premisa de nuestro caso de estudio de la CEL de Berrobi, que no incluye una inversión inicial por parte de la CEL, se debe considerar un subsidio público significativo para la instalación, no menor al 67%. Los hallazgos de este

estudio resaltan el papel fundamental de las comunidades energéticas en el avance de la adopción de tecnologías de almacenamiento y energía renovable. Al empoderar a los consumidores para que participen activamente en la producción y el consumo de energía, las comunidades energéticas fomentan una cultura de sostenibilidad, autosuficiencia y reducción de costos. Si bien la inversión inicial en infraestructura de almacenamiento se puede concluir que, la viabilidad financiera a largo plazo y los beneficios ambientales subrayan su importancia para log.

ANEXOS

Este artículo ha sido publicado en la revista internacional BUILDINGS [33].

De calidad de impacto Q2 en base JCR.



Article

Unveiling Key Factors Shaping Energy Storage Strategies for Sustainable Energy Communities.

José Andrés Palacios-Ferrer ^{1,2*}, Francisco J. Rey-Martínez ^{2,3}, Christian A. Repenning-Bzdigian ⁴
and Javier M. Rey-Hernández ^{3,5,6}

¹ Chamber of Commerce of Navarra, 31002 Pamplona, Navarra, Spain

² Energy and Fluid Mechanics Department, Engineering School (EII), University of Valladolid, 47002 Valladolid, Spain; rey@uva.es

³ GIRTER Research Group, Consolidated Research Unit (UIC053) of Castile and Leon, Spain

⁴ SPIE Energy Systems Ibérica, 31620 Huarte, Navarra, Spain; crepenning@spie.es

⁵ Mechanical, Thermal and Fluid Engineering Department, University of Málaga, 29016 Málaga, Spain; jrey@uma.es

⁶ GEUMA Research Group, (TEP139) of Andalucía, Spain

* Correspondence: japalacios@camaravarra.com

5.3 TODA ENERGÍA NAVARRA, UN MODELO DE COLABORACIÓN

Finalmente presentaré un proyecto en el cual he participado directamente en su definición, puesta en marcha y desarrollo. El proyecto es la CEL NAVARRA TODA ENERGIA, [34] se trata de una Comunidad Energética que agrupa, inicialmente, a 29 Ayuntamientos navarros (27 de los cuáles son municipios del Reto Demográfico, con una población inferior a los 5.000 habitantes) conscientes de que un proyecto en común, como el que representa CEL NAVARRA TODA ENERGÍA, puede contribuir a que sus ciudadanos, los pequeños comercios y las pymes, junto con las corporaciones municipales, puedan desarrollar proyectos energéticos que redunden en beneficios medioambientales, económicos y sociales para las personas asociadas a la CEL y para los municipios que participan en la misma. Este Proyecto se ha implantado en más de 15 provincias de España con 300 municipios adheridos.y su tendencia es a seguir desarrollándose.



Figura 67: Mapa de Navarra con los Municipios de CEL TODA NAVARRA. (Elaboración propia)

La entrada en la CEL no supone una inversión inicial. La cuota de participación se fija por los Estatutos en 150€ que se pueden abonar en uno o en tres plazos y de la que se devuelve el 50% si el socio se da de baja en los primeros dos años. A partir de ese momento la participación en la CEL no requiere de otra exigencia económica que el abono mensual de una cuota de 9€ (ver plan de negocio), que incluye la amortización del préstamo para la ejecución de las instalaciones generadoras de energía

renovable, su ejecución, mantenimiento, acceso a la energía que produce, a la APP de monitorización del consumo y toda la gestión energética y operativa de la CEL. El fin de CEL NAVARRA TODA ENERGIA es que el factor económico no suponga una barrera de participación en ella para el mayor número posible de vecinos y pequeños comercios de los municipios que la integran.

Resumen del proyecto

El proyecto piloto es absolutamente singular. No tenemos constancia de una Comunidad Energética territorial que abarque un número tan importante de municipios, ni que gestione en régimen de autoconsumo compartido, un número tan significativo de instalaciones. Algunos de los elementos que caracterizan el proyecto son los siguientes:

1. La participación de **29 ayuntamientos** de la Comunidad Foral.
2. La ejecución por CEL NAVARRA TODA ENERGIA de **56 instalaciones fotovoltaicas** en cubiertas cedidas por los Ayuntamientos participantes, con una potencia instalada total de **4MW**, para ser aprovechadas en régimen de autoconsumo compartido por las viviendas y pequeños comercios socios de la CEL. Figura 68.

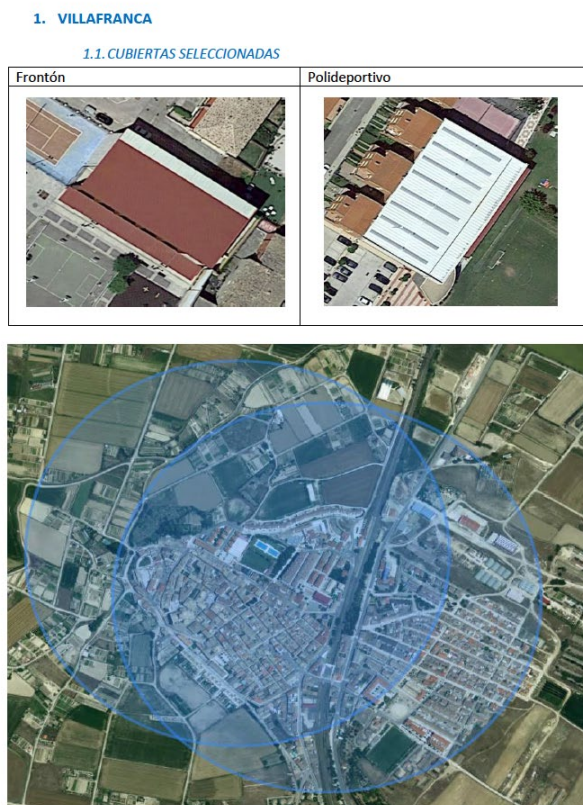


Figura 68: Implantación de la Energía Fotovoltaica en CEL Navarra. [Elaboración propia]

3. La participación en la CEL NAVARRA TODA ENERGIA de **5.900 familias y pequeños comercios** de estos municipios y cuyas viviendas y locales están situadas en el radio de 500 metros de la correspondiente instalación.
4. Aseguramiento, mediante una compra mancomunada de energía por parte de los miembros de CEL NAVARRA TODA ENERGIA, de que el **100% de la energía** que consumirán los vecinos y pequeños comercios socios (un 25% aproximadamente proveniente de la instalación y el resto proveniente de la red) sea de **origen renovable** y que a ella accedan los socios en unas condiciones económicas óptimas.
5. Implantación de una monitorización de las instalaciones que haga posible una **gestión de la demanda (EMS)** que permita influir en el modo de consumir energía de las familias y pequeños comercios socios de CEL NAVARRA TODA ENERGIA con el fin de modificar el perfil de consumo y lograr una mayor eficiencia energética.
6. La instalación en estos municipios de **56 puntos de recarga eléctrica**.



Figura 69: Cargadores de Vehículos Eléctricos en Cascante. [Elaboración propia]

7. Desarrollo progresivo de **nuevas actuaciones** vinculadas con otras fuentes de energía renovable (minieólica, minihidráulica...), con la movilidad sostenible, con las energías renovables térmicas, con la eficiencia energética y con la gestión de la demanda.”

Ubicación exacta de la actuación:	NAVARRA
Tipo de actuación:	Instalación fotovoltaica en régimen de autoconsumo colectivo
Potencia de la instalación de generación (P. Nominal de inversores)	3.368 kWn
Energía anual estimada producida por la instalación:	5.360.365 kWh
Potencia nominal de módulos FV	3937 kWp

[Elaboración propia]

Movilidad sostenible

Dado el elevado número de puntos de recarga, y para evitar una mayor extensión del documento, se va a incluir únicamente la tabla agregada de todas las instalaciones.

El desglose individualizado de cada actuación estará aportado dentro de su apartado correspondiente: “Lista de documentación aportada por cada actuación”.

Ubicación exacta de la actuación:	NAVARRA
Tipo de Actuación	Punto de Recarga VE
Número de puntos de recarga por actuación	56
Potencia de la instalación	1232 kW
Tipo de recarga	PÚBLICA

[Elaboración propia]

Gestión de la demanda

Para evitar una mayor extensión del presente documento, la información requerida se presenta en su apartado correspondiente: “Lista de documentación aportada por cada actuación”.

Proyectos multi-componente e innovadores.

En cuanto al **carácter multi-componente**, los Estatutos de la CEL NAVARRA TODA ENERGÍA recogen entre los fines de la misma el de: *“Incorporar progresivamente iniciativas relacionadas con la generación de energía renovable por medio de otras fuentes diferentes de la energía fotovoltaica, con la movilidad sostenible, con las relacionadas con las energías renovables térmicas, con la eficiencia energética y con la gestión de la demanda”.*

REFERENCIAS

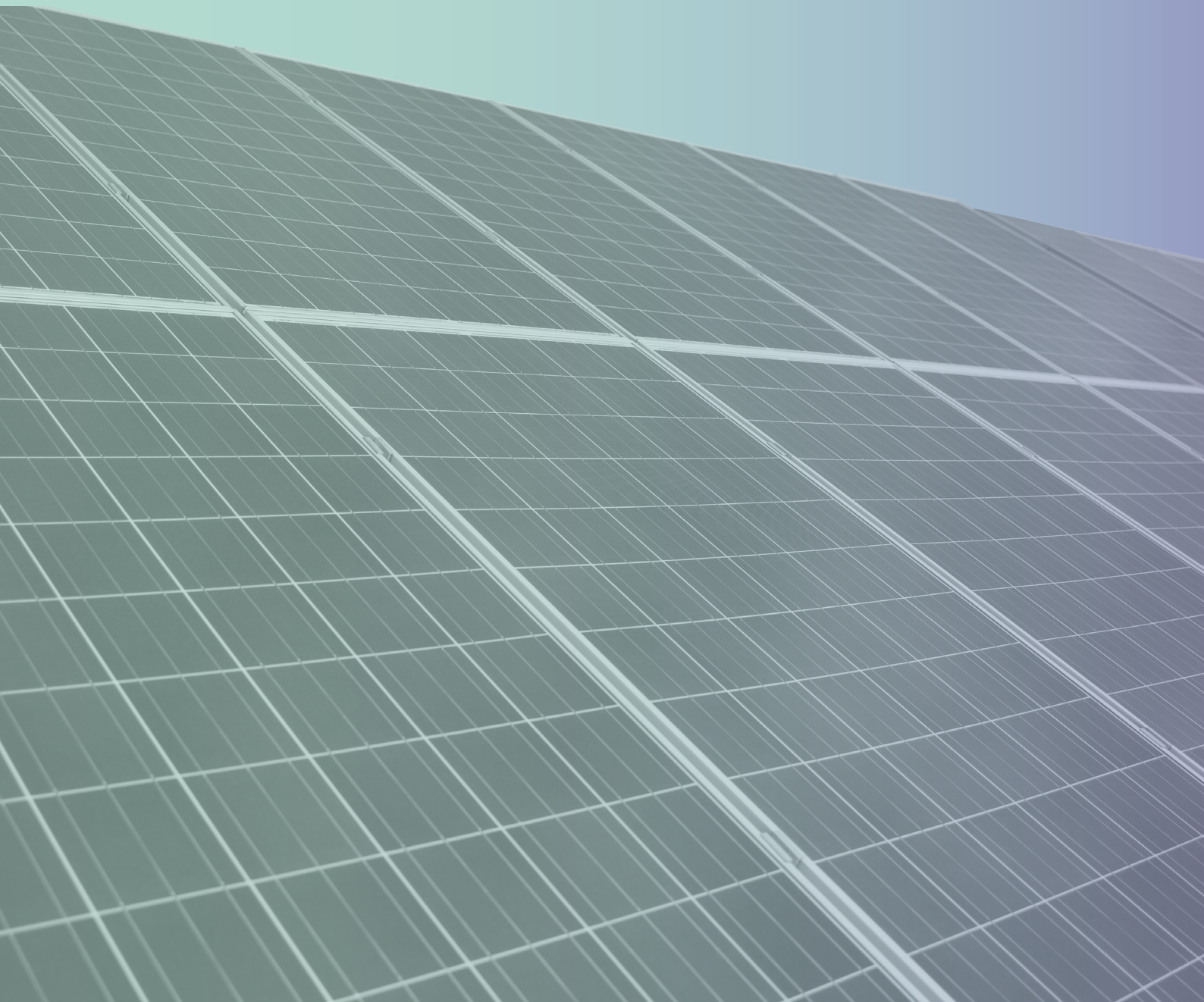
- Lage, M.; Castro, R.; Manzolini, G.; Casalicchio, V.; Sousa, T. Techno-economic analysis of self-consumption schemes and energy communities in Italy and Portugal. *Sol. Energy* **2024**, *270*, 112407. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2024.112407>.
- Standal, K.; Leiren, M.D.; Alonso, I.; Azevedo, I.; Kudrenickis, I.; Maleki-Dizaji, P.; Laes, E.; Di Nucci, M.R.; Krug, M. Can renewable energy communities enable a just energy transition? Exploring alignment between stakeholder motivations and needs and EU policy in Latvia, Norway, Portugal and Spain. *Energy Res. Soc. Sci.* **2023**, *106*, 103326. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.103326>.
- Petrovics, D.; Huitema, D.; Giezen, M.; Vis, B. Scaling mechanisms of energy communities: A comparison of 28 initiatives. *Glob. Environ. Chang.* **2024**, *84*, 102780. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102780>.
- Lowitzsch, J.; Kreutzer, K.; George, J.; Croonenbroeck, C.; Breitschopf, B. Development prospects for energy communities in the EU identifying best practice and future opportunities using a morphological approach. *Energy Policy* **2023**, *174*, 113414. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113414>.
- Spasova, D.; Braungardt, S. 2—*The EU Policy Framework for Energy Communities*; Löbbe, S., Sioshansi, F., Robinson, D.B.T.-E.C., Eds.; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2022; pp. 25–42. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91135-1.00022-5>.
- Stroink, A.; Diestelmeier, L.; Hurink, J.L.; Wawer, T. Benefits of cross-border citizen energy communities at distribution system level. *Energy Strateg. Rev.* **2022**, *40*, 100821. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100821>.
- Minelli, F.; Ciriello, I.; Minichiello, F.; D'Agostino, D. From Net Zero Energy Buildings to an energy sharing model—The role of NZEBs in Renewable Energy Communities. *Renew. Energy* **2024**, *223*, 120110. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120110>.
- Parreño-Rodríguez, A.; Ramallo-González, A.P.; Chinchilla-Sánchez, M.; Molina-García, A. Community energy solutions for addressing energy poverty: A local case study in Spain. *Energy Build.* **2023**, *296*, 113418. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113418>.
- Vicente, S.B.; Cordero, D.M.; Estopiñán, A.L.; Lamadrid, Á.Z.; Hernandez-Callejo, L. Technical evaluation of European and North American sustainable benchmark scenarios based on renewable Local energy Communities penetration. *Sustain. Energy Technol. Assess.* **2023**, *60*, 103556. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103556>.
- Mussawar, O.; Urs, R.R.; Mayyas, A.; Azar, E. Performance and prospects of urban energy communities conditioned by the built form and function: A systematic investigation using agent-based modeling. *Sustain. Cities Soc.* **2023**, *99*, 104957. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104957>.
- Gianaroli, F.; Preziosi, M.; Ricci, M.; Sdringola, P.; Ancona, M.A.; Melino, F. Exploring the academic landscape of energy communities in Europe: A systematic literature review. *J. Clean. Prod.* **2024**, *451*, 141932. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141932>.
- Berg, K.; Hernandez-Matheus, A.; Aragón-Peñalba, M.; Bullich-Massagué, E.; Farahmand, H. Load configuration impact on energy community and distribution grid: Quantifying costs, emissions and grid exchange. *Appl. Energy* **2024**, *363*, 123060. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123060>.
- Lode, M.L.; Boveldt, G.T.; Coosemans, T.; Camargo, L.R. A transition perspective on Energy Communities: A systematic literature review and research agenda. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2022**, *163*, 112479. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112479>.
- Bauwens, T.; Schraven, D.; Drawing, E.; Radtke, J.; Holstenkamp, L.; Gotchev, B.; Yildiz, Ö. Conceptualizing community in energy systems: A systematic review of 183 definitions. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2022**, *156*, 111999. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111999>.

15. Gruber, L.; Bachhiesl, U.; Wogrin, S. The current state of research on energy communities. *e+i Elektrotechnik Informations-technik* **2021**, *138*, 515–524. <https://doi.org/10.1007/s00502-021-00943-9>.
16. de São José, D.; Faria, P.; Vale, Z. Smart energy community: A systematic review with metanalysis. *Energy Strategy Rev.* **2021**, *36*, 100678. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100678>.
17. Fouladvand, J.; Ghorbani, A.; Mouter, N.; Herder, P. Analysing community-based initiatives for heating and cooling: A systematic and critical review. *Energy Res. Soc. Sci.* **2022**, *88*, 102507. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102507>.
18. Papatsounis, A.G.; Botsaris, P.N.; Katsavounis, S. Thermal/Cooling Energy on Local Energy Communities: A Critical Review. *Energies* **2022**, *15*, 1117. <https://doi.org/10.3390/en15031117>.
19. Lazdins, R.; Mutule, A.; Zalostiba, D. PV Energy Communities—Challenges and Barriers from a Consumer Perspective: A Literature Review. *Energies* **2021**, *14*, 4873. <https://doi.org/10.3390/en14164873>.
20. Berka, A.L.; Creamer, E. Taking stock of the local impacts of community owned renewable energy: A review and research agenda. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2018**, *82*, 3400–3419. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.050>.
21. Koirala, B.P.; Koliou, E.; Friege, J.; Hakvoort, R.A.; Herder, P.M. Energetic communities for community energy: A review of key issues and trends shaping integrated community energy systems. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2016**, *56*, 722–744. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.080>.
22. Busch, H.; Ruggiero, S.; Isakovic, A.; Hansen, T. Policy challenges to community energy in the EU: A systematic review of the scientific literature. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2021**, *151*, 111535. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111535>.
23. Sousa, T.; Soares, T.; Pinson, P.; Moret, F.; Baroche, T.; Sorin, E. Peer-to-peer and community-based markets: A comprehensive review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2019**, *104*, 367–378. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.036>.
24. Leonhardt, R.; Noble, B.; Poelzer, G.; Fitzpatrick, P.; Belcher, K.; Holdmann, G. Advancing local energy transitions: A global review of government instruments supporting community energy. *Energy Res. Soc. Sci.* **2022**, *83*, 102350. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102350>.
25. Gjorgievski, V.Z.; Cundeva, S.; Georghiou, G.E. Social arrangements, technical designs and impacts of energy communities: A review. *Renew. Energy* **2021**, *169*, 1138–1156. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.01.078>.
26. Hewitt, R.J.; Bradley, N.; Compagnucci, A.B.; Barlagne, C.; Ceglarz, A.; Cremades, R.; McKeen, M.; Otto, I.M.; Slee, B. Social innovation in community energy in Europe: A review of the evidence. *Front. Energy Res.* **2019**, *7*, 31. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2019.00031>.
27. Reis, I.F.G.; Gonçalves, I.; Lopes, M.A.R.; Antunes, C.H. Business models for energy communities: A review of key issues and trends. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2021**, *144*, 111013. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111013>.
28. Wuebben, D.; Romero-Luis, J.; Gertrudix, M. Citizen Science and Citizen Energy Communities: A Systematic Review and Potential Alliances for SDGs. *Sustainability* **2020**, *12*, 10096. <https://doi.org/10.3390/su122310096>.
29. Esposito, P.; Marrasso, E.; Martone, C.; Pallotta, G.; Roselli, C.; Sasso, M.; Tufo, M. A roadmap for the implementation of a renewable energy community. *Heliyon* **2024**, *10*, e28269. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28269>.
30. Azarova, V.; Cohen, J.; Friedl, C.; Reichl, J. Designing local renewable energy communities to increase social acceptance: Evidence from a choice experiment in Austria, Germany, Italy, and Switzerland. *Energy Policy* **2019**, *132*, 1176–1183. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.06.067>.
31. Mariuzzo, I.; Fioriti, D.; Guerrazzi, E.; Thomopoulos, D.; Raugi, M. Multi-objective planning

method for renewable energy communities with economic, environmental and social goals. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* **2023**, *153*, 109331. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2023.109331>.

32. Elomari, Y.; Mateu, C.; Marín-Genescà, M.; Boer, D. A data-driven framework for designing a renewable energy community based on the integration of machine learning model with life cycle assessment and life cycle cost parameters. *Appl. Energy* **2024**, *358*, 122619. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.122619>.
33. Palacios, JA; Rey-Martínez, F.J.; Repening-Bzdigian C. A.; Rey-Hernández J.M.; Unveiling Key Factors Shaping Energy Storage Strategies for Sustainable Energy Communities. *MDPI Buildings* 2024, <https://www.mdpi.com/search?authors=jose+andres+Palacios+Ferrer&journal=buildings>
34. CEL Toda Navarra - Comunidad Energética Local (comunidadenergeticalocal.eu) <https://www.comunidadenergeticalocal.eu/proyectos/toda-navarra/>

6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS



6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Las energías renovables ofrecen una solución prometedora a nuestras necesidades energéticas, al contar con recursos limpios y abundantes con numerosos beneficios ambientales, económicos y sociales. Sin embargo, su integración en las redes energéticas tradicionales enfrenta desafíos debido a su naturaleza intermitente. Para superar este obstáculo, es esencial una comprensión profunda de los patrones de consumo de energía dentro de las comunidades energéticas locales (CEL).

Al analizar el comportamiento de los consumidores dentro de los CEL y pronosticar los picos de demanda, es posible gestionar eficazmente el consumo de energía durante períodos de baja producción renovable. Este enfoque proactivo, como se describió en secciones anteriores, no sólo garantiza la estabilidad financiera sino que también maximiza los beneficios ambientales.

En medio de los crecientes costos de la energía y la urgente necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, las energías renovables y las soluciones de almacenamiento presentan alternativas convincentes. A través de un meticuloso análisis de datos, evaluaciones económicas y evaluaciones de costos, este estudio de caso demuestra la viabilidad de utilizar energía renovable dentro de las CEL.

Fomentar la investigación y el desarrollo de tecnologías de almacenamiento de energía es crucial, lo que requiere tanto incentivos económicos como esfuerzos de colaboración entre los sectores público y privado. Mejorar nuestra comprensión de los patrones de consumo de energía es primordial, lo que nos permitirá seleccionar tecnologías sostenibles e impulsar el progreso en la sostenibilidad ambiental y económica.

Proponer incentivar la introducción del almacenamiento como tecnología obligatoria en las CEL apoyadas públicamente puede ser una herramienta que despliegue su uso. Esto permitirá liberar a la red de energía generada por tecnologías renovables no controladas, provocando una mayor flexibilidad de la demanda y creando condiciones de retribución acordes a sus costes de producción y transporte.

La evolución del autoconsumo colectivo presenta numerosos desafíos pero también grandes oportunidades. Aprovechando los excedentes individuales y analizando las curvas de consumo dentro de las CEL, podemos identificar la capacidad de almacenamiento necesaria para adaptarse a la demanda fluctuante. Teniendo en cuenta las implicaciones financieras, pueden ser necesarios subsidios públicos para facilitar el despliegue del almacenamiento en escenarios de autoconsumo colectivo.

Los hallazgos de este estudio resaltan el papel fundamental de las comunidades energéticas en el avance de la adopción de tecnologías de almacenamiento y energía renovable.

A través del ejemplo práctico de las CEL, esta investigación destaca la importancia de la participación de los consumidores en la producción y el consumo de energía renovable. A pesar de los costos de inversión iniciales, los hallazgos enfatizan la viabilidad financiera de la implementación del almacenamiento dentro de las CEL cuando se escala adecuadamente.

Al empoderar a los consumidores para que participen activamente en la producción y el consumo de energía, las comunidades energéticas fomentan una cultura de sostenibilidad, autosuficiencia y reducción de costos. Si bien la inversión inicial en infraestructura de almacenamiento puede ser sustancial, la viabilidad financiera a largo plazo y los beneficios ambientales subrayan su importancia para lograr un futuro energético más limpio y sostenible.

Este estudio reveló que la necesidad de capacidad de almacenamiento de la producción de energía de la CEL, debería tener al menos un promedio del 23% de la producción en el caso de la CEL estudiada, observándose fluctuaciones en el año donde esta capacidad puede duplicarse o reducirse a un mínimo en ciertos meses.

Analizando exclusivamente el apoyo público al almacenamiento, sin tener en cuenta otras tecnologías subvencionadas, y considerando los precios y costos actuales, se determinó que bajo la premisa de nuestro caso, que no incluye una inversión inicial por parte de la CEL, se debe considerar un subsidio público significativo para la instalación, no menor al 67%.

Esta conclusión permitirá a las CEL con una instalación de generación sobredimensionada y que actualmente no tienen batería, utilizar este modelo de análisis para calcular el volumen de inversión necesaria en almacenamiento para aprovechar sus excedentes.

En este sentido proponemos una línea de investigación que se realice en almacenamientos individualizados de cada uno de los socios de la CEL con las compensaciones actuales a través de la distribuidora y la comercializadora, analizando si mejora sustancialmente, frente al almacenamiento colectivo detrás del contador de generación, tal y como realizamos en esta tesis. Esta línea de investigación individualizada podrá afrontar retos que actualmente no están analizados y permitir

una mejor gestión individualizada de la energía por parte de los socios de una CEL. En Comunidades Energéticas de empresas los resultados pueden ser sustancialmente mejores.

Otra línea futura de análisis sería instalar una única batería comunitaria detrás del contador, pero con distribución individualizada de la energía en función de sus consumos dinámicos individuales en tiempo real. Esto se podría conseguir con la conexión interna de información de consumos entre los socios y la CEL, permitiendo una mejor autodistribución interna en tiempo real, sin depender de la información que recogen la comercializadora y la distribuidora. Siendo una smart grid plena.

Como podemos ver se abren grandes oportunidades de estudios y análisis en lo referente al almacenamiento y la flexibilidad de la demanda en los próximos ejercicios, que permita a las CEL convertirse en verdaderos actores del sector energético.

