

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INTEGRACIÓN DE LAS ENERGÍAS
RENOVABLES EN EL SISTEMA ELÉCTRICO

TRABAJO FIN DE MÁSTER

EVALUACIÓN ECONÓMICA DE COMUNIDADES ENERGÉTICAS

eman ta zabal zazu



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea



Estudiante: Delgado Escalera, Aitor

Directora: Fernandez Herrero, Elvira

Codirector: Madina Doñabeitia, Carlos

Curso: 2022-2023

Fecha: Bilbao, 2, octubre, 2023

RESUMEN

Las comunidades energéticas se plantean como una alternativa para ayudar a descarbonizar el sector eléctrico y fortalecer al consumidor final frente a las grandes comercializadoras. Sin embargo, estas comunidades son entidades nuevas por lo que tienen diversas incógnitas asociadas. En este trabajo, se recoge un método para analizar la rentabilidad financiera de las comunidades energéticas.

Para evaluar la viabilidad económica de estas comunidades se ha simulado un caso y se ha realizado un análisis multi-agente para después calcular diferentes índices económicos. Los resultados de este trabajo demuestran la viabilidad económica de las comunidades energéticas además de cómo por medio de la cooperación, se puede obtener un mayor beneficio económico de las instalaciones.

LABURPENA

Energia-komunitateak alternatibatzat hartzen dira elektrizitate-sektorea deskarbonizatzen laguntzeko eta azken kontsumitzailea merkatari handien aurka sendotzeko. Hala ere, komunitate hauek entitate berriak dira, beraz, hainbat ezezagun dituzte haiekin lotuta. Lan honetan, energia-komunitateen finantza-errentagarritasuna aztertzeko metodo bat biltzen da.

Komunitate horien bideragarritasun ekonomikoa ebaluatzeko, kasu bat simulatu da eta agente anitzeko analisisia egin da gero indize ekonomiko desberdinak kalkulatzeko. Lan honen emaitzek energia-komunitateen bideragarritasun ekonomikoa erakusten dute, baita nola, lankidetzaren bidez, instalazioetatik onura ekonomiko handiagoa lor daitekeen.

ABSTRACT

The energy communities are considered as an alternative to help decarbonize the electricity sector and strengthen the final consumer against the large retailers. However, these communities are new entities, so they have several unknowns associated with them. In this work, a method is collected to analyze the profitability of energy communities.

To assess the economic viability of these communities, a case has been simulated and a multi-agent analysis has been carried out to later calculate different investment valuation methods. The results of this work demonstrate the economic viability of energy communities as well as how, through cooperation, a greater economic benefit can be obtained from the facilities.

PALABRAS CLAVE

Comunidad energética, modelo de negocio multi-agente, e³ value, autoconsumo fotovoltaico, mercado eléctrico, indicadores económicos, consumo eléctrico, generación eléctrica.

KEYWORDS

Energy community, multi-agent business model, e³ value, photovoltaic self-consumption, electricity market, economic methodes, electricity consumption, electricity generation.



ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN.....	3
1.1 Políticas para la transición ecológica.....	4
1.2 Comunidades energéticas	5
2 OBJETO Y ALCANCE DEL TRABAJO	8
3 ESTADO DEL ARTE EN COMUNIDADES ENERGÉTICAS.....	9
4 ESTADO DEL ARTE DE ANÁLISIS ECONÓMICOS.....	13
4.1 Indicadores económicos	13
4.1.1 Valor actual neto	13
4.1.2 Tasa interna de retorno	14
4.1.3 Tasa única de retorno	15
4.1.4 Tiempo de amortización simple o Payback simple.....	15
4.1.5 Tiempo de amortización descontado.....	15
4.1.6 Beneficio anual equivalente	16
4.1.7 Requisitos de ingresos.....	16
4.1.8 Coste nivelado de la energía	17
4.2 Análisis multi-agente	17
4.2.1 Modelo e ³ value.....	18
5 COMUNIDAD ENERGÉTICA A ESTUDIAR	21
5.1 Descripción del emplazamiento	21
5.2 Precios de la energía	21
5.2.1 Coste de la energía.....	21
5.2.2 Precio de venta de los excedentes.....	21
5.3 Consumo	23
5.4 Simulación de la generación.....	29
5.4.1 Generación frente a consumo.....	31
6 ANÁLISIS ECONÓMICO	35
6.1 Desarrollo Teórico	35
6.1.1 Desarrollo y aplicación del modelo de negocio	35
6.1.1.1 Descripción de la idea de negocio	35
6.1.1.2 Creación del modelo de valor	36
6.1.2 Desarrollo de las herramientas para el cálculo	38
6.2 Análisis de resultados.....	40
6.3 Análisis de alternativas.....	44
7 CONCLUSIONES	46
8 BIBLIOGRAFÍA.....	48



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1-1: ODS 7.....	3
FIGURA 1-2: ODS 11.....	3
FIGURA 1-3: ODS 12.....	3
FIGURA 1-4: ODS 13.....	4
FIGURA 5-1: PRECIO DEL MERCADO ELÉCTRICO EN 2022.....	22
FIGURA 5-2: PRECIO DEL MERCADO DE 2023 (HASTA JULIO) Y 2022 (DESDE JULIO).....	22
FIGURA 5-3: REPETICIÓN DE LOS PRECIOS DEL MERCADO.....	23
FIGURA 5-4: CONSUMO DE CALEFACCIÓN MEDIO ANUAL DE UN EDIFICIO EN KWH.....	24
FIGURA 5-5: CONSUMO DE CALEFACCIÓN MEDIO DE UN EDIFICIO EN 10 DÍAS.....	24
FIGURA 5-6: CONSUMO DE ACS MEDIO ANUAL DE UN EDIFICIO.....	25
FIGURA 5-7: CONSUMO MEDIO DE ACS DE UN EDIFICIO EN 10 DÍAS.....	26
FIGURA 5-8: CONSUMO MEDIO DE ACS UN DÍA FESTIVO Y OTRO LABORAL EN UN EDIFICIO.....	26
FIGURA 5-9: CONSUMO ELÉCTRICO MEDIO DE UN EDIFICIO DURANTE UN AÑO.....	27
FIGURA 5-10: CONSUMO ELÉCTRICO MEDIO DE UN EDIFICIO DURANTE 10 DÍAS.....	28
FIGURA 5-11: CONSUMO ELÉCTRICO MEDIO DE UN EDIFICIO EN UN DÍA.....	28
FIGURA 5-12: ENERGÍA GENERADA POR UNA PLANTA DE 1 kW DE POTENCIA PICO INSTALADA.....	29
FIGURA 5-13: GENERACIÓN FOTOVOLTAICA CON UNA INSTALACIÓN DE 1 kW PICO EN 10 DÍAS.....	30
FIGURA 5-14: GENERACIÓN FOTOVOLTAICA CON UNA INSTALACIÓN DE 1 kW PICO EN 1 DÍA.....	30
FIGURA 5-15: GENERACIÓN FRENTE A CONSUMO ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO PARA DIFERENTES POTENCIAS INSTALADAS.....	31
FIGURA 5-16: GENERACIÓN FRENTE A CONSUMO ELÉCTRICO PARA UN DÍA CON POCA RADIACIÓN.....	32
FIGURA 5-17: GENERACIÓN FRENTE A CONSUMO DE UNA VIVIENDA.....	32
FIGURA 5-18: GENERACIÓN FRENTE A CONSUMO DE UNA VIVIENDA UN DÍA DE POCA GENERACIÓN.....	33
FIGURA 5-19: GENERACIÓN FRENTE A CONSUMO DE TODA LA COMUNIDAD.....	34
FIGURA 6-1: MODELO DE VALOR DEL SISTEMA ELÉCTRICO ESPAÑOL CON UNA COMUNIDAD ENERGÉTICA.....	36
FIGURA 6-2: MODELO DE VALOR DE UNA COMUNIDAD ENERGÉTICA.....	37
FIGURA 6-3: FLUJOS DE CAJA DEL SOCIO PARA CADA PERIODO.....	41
FIGURA 6-4: FLUJOS DE CAJA DEL VECINO PARA CADA PERIODO.....	41
FIGURA 6-5: VAN DEL SOCIO PARA LOS DIFERENTES PERIODOS.....	42
FIGURA 6-6: COMPARACIÓN DEL VAN PARA EL SOCIO.....	43
FIGURA 6-7: VAN PARA EL SOCIO EN FUNCIÓN DEL PORCENTAJE DE PARTICIPACIÓN.....	44
FIGURA 6-8: TIEMPO DE AMORTIZACIÓN SIMPLE PARA DIFERENTES PORCENTAJES.....	45

1 INTRODUCCIÓN

Existe una demanda creciente de energía asociada a las actividades desarrolladas por el ser humano. Esto implica una necesidad de aumentar la producción energética que, tradicionalmente, ha sido cubierta por recursos fósiles que implican la emisión de gases de efecto invernadero en su explotación (tanto a la hora de transformarlos en energía eléctrica como a la hora de extraerlos). Estos gases, son los causantes de una aceleración en el calentamiento global y existe un gran interés en menguar su emisión.

Debido a esto, urge desarrollar nuevas fuentes de generación de origen renovable, libre de emisiones de gases de efecto invernadero. Con el fin de asegurar un futuro justo y sostenible, las Naciones Unidas recopilaron un conjunto de desafíos globales a los que se enfrenta la sociedad y los plasmaron en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Los más relevantes en tema de energía son los que se muestran en las figuras 1-1, 1-2, 1-3 y 1-4 [1].



Figura 1-1: ODS 7

La meta 7.2 que busca que de aquí a 2030 se aumente considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas [2].



Figura 1-2: ODS 11

La meta 11.6 propone reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades de aquí a 2030 [3].



Figura 1-3: ODS 12

La meta 12.2 en la que se plantea lograr una gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales para 2030 [4].



Figura 1-4: ODS 13

La meta 13.3 propone mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana [5].

Hay una necesidad de crear una normativa que impulse proyectos que ayuden a acelerar la transición energética y a cumplir los ODS. Por eso, diferentes instituciones han desarrollado medidas para completar la transición ecológica.

1.1 Políticas para la transición ecológica

Desde la Unión Europea, se compromete a los estados miembros a cumplir unos objetivos con el fin de descarbonizar la energía en Europa, lograr la independencia energética y asegurar un futuro sostenible. Estos objetivos están unidos al uso eficiente de los recursos disponibles y a desligar el consumo del desarrollo económico.

Se pretende llevar a cabo una transición ecológica para la cual se han desarrollado políticas europeas. El paquete de medidas “Energía limpia para todos los europeos” (Clean Energy Package), por ejemplo, hace hincapié en el consumo residencial, que supone cerca del 40% del consumo total de energía y es responsable del 36% de las emisiones de CO₂. Por lo tanto, se exige a los estados miembro crear una normativa para hacer los edificios más eficientes. También se plantea un ambicioso objetivo de lograr que, en 2030, las energías renovables supongan un 32% en el mix energético europeo. Además, se quiere mejorar la eficiencia energética un 32,5% para ese mismo año. Los estados miembros están obligados a hacer un plan nacional de energía y clima para asegurar estos objetivos. Estas medidas, fueron adoptadas en 2019 para ayudar a descarbonizar el sistema eléctrico [6].

Otra de las políticas a seguir es el Green Deal (o Pacto Verde Europeo), que tiene el origen el 11 de diciembre de 2019 y está en línea con el Clean Energy Package iniciado ese mismo año. Mediante este paquete de iniciativas que supone el Pacto Verde, se pretende transformar la Unión Europea en una economía eficiente que garantice el cese de emisiones netas de gases de efecto invernadero en 2050, la disociación entre el desarrollo económico y el uso de recursos, y que no haya personas ni localizaciones que se queden atrás. El Green Deal, ha sufrido modificaciones a lo largo del tiempo, aumentando la ambición, con medidas como las normas más estrictas para impulsar la eficiencia energética acordadas por la UE el 10 de marzo de 2023 [7].

El Pacto Verde incluye la iniciativa “Objetivo 55”, que tiene su origen el 17 de septiembre de 2020 pero se ha ido actualizando con el tiempo. Ésta, contiene un paquete de medidas cuya finalidad es legislar las ambiciones del Pacto Verde. El nombre se debe a la meta de reducir las emisiones en un 55% para el año 2030 [8].

Desde España, la transición ecológica se legisla por la ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética. Esta ley recoge los elementos reguladores del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) en el que se recogen las políticas y medidas que se tomarán para hacer frente a los retos que plantea la Comisión Europea en el Clean Energy Package [9]. En materia de energías renovables, se ha fijado la meta de que estas fuentes de energía alternativa supongan un 42% de la demanda final de energía y el 74% de la producción en el sistema eléctrico español. Para lograrlo, se necesitan mecanismos de mercado y retribución que garanticen seguridad en las inversiones a proyectos de esta naturaleza [10].

Para impulsar medidas que apoyen el plan nacional (PNIEC), y a su vez, mitigar los efectos causados por la crisis del COVID-19, se aprobó en abril de 2021 el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia. Mediante este instrumento, se quiere destinar los fondos europeos a reparar los daños de la pandemia y a desarrollar reformas e inversiones que aseguren un futuro más sostenible [11]. Por ejemplo, el plan establece ayudas para el fomento y desarrollo de proyectos de comunidades energéticas, ya que éstas se presentan como un elemento clave en la transición energética, gracias a que promueven el uso de energías renovables e impulsan la participación en el sector energético de actores que tradicionalmente no intervenían en el mismo [12].

En la comunidad autónoma vasca, existe un proyecto de ley de transición energética que, a fecha de 11 de julio de 2023, ha sido enviado al parlamento, pero está pendiente de aprobación [13]. Sin embargo, existe un Plan de Transición Energética y Cambio Climático 2021-2024. Los objetivos son la reducción en un 30% de la emisión de gases de efecto invernadero para 2024, conseguir una cuota de energías renovables de un 20% del consumo final de energía, y asegurar la resiliencia de la región vasca al cambio climático para 2024. Para lograr estos objetivos, se proponen 15 iniciativas emblemáticas, de las cuales las más importantes se presentan en el apartado 1.2 [14].

1.2 Comunidades energéticas

La transición ecológica se tiene que hacer en conjunto con toda la población, por lo que es importante incluir la participación ciudadana en los planes de sostenibilidad. Tal y como se ha comprobado en el apartado anterior, la energía posee un papel crucial en la transición ecológica, ya que la explotación de los recursos fósiles es la principal causa de la emisión de gases de efecto invernadero [15]. Tradicionalmente, la ciudadanía ha estado desligada del funcionamiento del sector eléctrico y no ha estado implicada en el proceso de producción. Con la llegada de las comunidades energéticas, se ofrece al ciudadano la oportunidad de contribuir en la transición energética promoviendo el uso de las energías renovables y permitiendo la autogestión para lograr un consumo más eficiente.

Las comunidades energéticas son entidades jurídicas que buscan el beneficio colectivo económico, social y ambiental de unos miembros, mediante el aprovechamiento de unas instalaciones de generación localizadas cerca de los puntos de consumo. En una comunidad energética, se puede generar, consumir, almacenar, compartir o vender energía, tanto térmica como eléctrica. De esta forma, se proporciona al ciudadano acceso a energía proveniente de fuentes de origen renovable, control sobre sus necesidades energéticas y la oportunidad de invertir en un proyecto que dará beneficio, no solo en el aspecto económico, sino que también en términos medioambientales y sociales. En la actualidad, no existe una normativa propia y

bien definida en España, aunque se está trabajando en ello. La figura legal más cercana es el autoconsumo colectivo, que se da cuando un conjunto de consumidores se autoabastece (de una forma previamente acordada) de energía eléctrica generada en instalaciones cercanas a los puntos de consumo. La normativa que regula el autoconsumo está detallada en el capítulo 3 sobre el estado del arte de las comunidades energéticas.

Las comunidades energéticas pueden estar formadas por personas físicas, pymes o autoridades locales. Es decir, ciudadanos, empresas micro/pequeñas/medianas o autoridades locales. Los miembros que pertenecen a estas organizaciones están implicados en la planificación de las medidas que se toman para la implementación de los sistemas de energía y, de esta forma, se optimizan los recursos locales que tienen a su alcance [16].

Una comunidad energética puede desarrollar el autoconsumo colectivo, pero también puede practicar otras actividades. Estas entidades, son algo más que el uso de una instalación de generación renovable. Además, implica la formación de los participantes en hábitos sostenibles ya que, al no tener un carácter lucrativo, prevalecen intereses como la protección del medio ambiente o el desarrollo de la economía local.

Aunque las comunidades energéticas no son muy populares en la península ibérica aún, éstas ofrecen beneficios como el acceso para todo el que quiera fomentar el consumo de energías renovables. Las comunidades se caracterizan por que todo aquel que esté interesado en participar puede hacerlo. Esto proporciona facilidad a los ciudadanos a participar en proyectos de carácter renovable, acercando el consumo de energía limpia a la población interesada. También tiene beneficios ambientales. Al apostar por una energía sostenible y limpia, se contribuye a la descarbonización para mitigar los efectos del calentamiento global.

Además, cuenta con ventajas económicas ya que supone una posibilidad de crear ingresos que se generan y permanecen en la comunidad, contando con el ahorro que supone en la factura eléctrica y, dada su naturaleza renovable, cuenta con ayudas para la financiación de los proyectos como parte de la estrategia para la transición ecológica. Con las comunidades energéticas, se ofrece la oportunidad de que los ingresos que se generen permanezcan en la propia comunidad local ayudando a mejorar la economía local. Además, la creación de empleo en la localidad y la estimulación del desarrollo de negocios locales (relacionados directa o indirectamente con el sector de las renovables), son ejemplos de cómo se mejora la economía local. Otro de los beneficios con los que cuentan las comunidades energéticas es la mayor independencia energética por parte de sus miembros al reducir la relación con las compañías eléctricas [17].

Los mayores inconvenientes de las comunidades energéticas se deben a la incertidumbre que hay a su alrededor. Por ejemplo, la variación de la normativa y la posible reducción de incentivos, la complejidad de los procedimientos administrativos, además de la falta de confianza de los inversores, lo cual dificulta la financiación, son algunos de los aspectos más negativos. Esto puede suponer una falta de interés por parte de la ciudadanía, que podría bloquear las iniciativas de comunidades energéticas, perdiendo así la oportunidad que suponen los proyectos de esta índole [16].

Las comunidades energéticas se ajustan a la estrategia marcada por las instituciones para la transición ecológica. Esto se puede observar en las diferentes medidas que se proponen para lograr los objetivos marcados desde la Comisión Europea.

En el PNIEC, la medida 1.1 indica que, con el fin de desarrollar las nuevas instalaciones renovables, existe una necesidad de reglamentar mecanismos para favorecer la existencia de proyectos ciudadanos participativos de generación renovable. Las comunidades energéticas son un ejemplo de proyectos con estas características, que tienen en cuenta la parte social y cuentan con un plan de reparto de los beneficios.

Además, en la medida 1.4, se busca descentralizar la generación y producirla mediante fuentes de origen renovable, con la participación ciudadana. Las comunidades energéticas concuerdan con esta política, que tiene como objetivo favorecer el autoconsumo, tal y como se hace en proyectos de esta naturaleza. La medida 1.13 está dedicada a las comunidades energéticas y se anima a la participación de ciudadanos, pymes y entidades locales en la transición energética [10].

Entre las 15 iniciativas emblemáticas que se encuentran en el plan de transición energética y cambio climático del Gobierno Vasco, está la iniciativa 4: “La energía solar fotovoltaica ante un futuro eléctrico y renovable”. Esta propuesta incluye directamente a las comunidades energéticas, marcando un objetivo de número de entre 12.000 y 20.000 miembros asociados a estos proyectos para el año 2023 en el territorio vasco.

En la iniciativa 13: “Población preparada para la adaptación al cambio climático y una transición energética justa”, se van a desarrollar herramientas y métodos con el fin de integrar la transición energética en los municipios. Con esto, se busca fomentar la participación de los ciudadanos en la transición energética ofreciendo ayudas a proyectos de acción climática. Las comunidades energéticas se ajustan a estos objetivos ya que promueven la generación renovable e implican la participación ciudadana.

También está la iniciativa 15: “Administración pública: un modelo para la transición energética y la resiliencia”. En muchas comunidades energéticas, la iniciativa la lleva el ayuntamiento del municipio, y también, se ofrecen las cubiertas de los edificios públicos para la instalación de placas fotovoltaicas dando ejemplo a la población de la localidad y animando a invertir en fuentes de energía alternativas [14].



2 OBJETO Y ALCANCE DEL TRABAJO

Dado que la transición energética requiere el aprovechamiento máximo de los recursos disponibles por el sistema, se espera que las comunidades energéticas tengan un papel clave para fomentar la participación ciudadana en la transición ecológica. Este trabajo consiste en un análisis económico de las comunidades energéticas. La finalidad es aplicar un modelo de negocio multi-agente a un caso para poder optimizar los beneficios de cada actor involucrado en la comunidad.

La evaluación económica de comunidades energéticas también contemplará diferentes alternativas para cubrir las necesidades energéticas de la comunidad energética. Para lograrlo, habrá que estudiar las diferentes alternativas y definir las fórmulas de monetización. Además, se realizará un análisis económico de las alternativas para determinar cuáles son las más adecuadas mediante el uso de indicadores financieros. También se va a estudiar la sensibilidad del sistema para poder determinar su resiliencia ante cambios que alteren los factores económicos y que puedan suponer un riesgo para la inversión.

Con el fin de descarbonizar una comunidad energética, hay que analizar las diferentes alternativas, como la electrificación de la demanda de calor y frío. Como en las comunidades energéticas hay muchos agentes involucrados, se pueden estudiar las diferentes posibilidades para cada usuario, así como para todo el conjunto. Para ello se analizarán los consumos de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS), además del eléctrico, para valorar la posibilidad de cubrir el mayor consumo posible y aprovechar al máximo la energía fotovoltaica disponible.

Por lo tanto, este trabajo aporta, mediante la aplicación de un análisis económico, un estudio cuantitativo completo para determinar qué alternativa es más rentable desde una perspectiva multi-agente. Es decir, se pretende determinar la opción más viable económicamente para los diferentes actores involucrados en las comunidades energéticas, mediante la aplicación en un caso real.

3 ESTADO DEL ARTE EN COMUNIDADES ENERGÉTICAS

Muchos proyectos de comunidades energéticas se basan en el autoconsumo colectivo. El concepto de autoconsumo fue introducido en la legislación española mediante la Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico en la que se define el autoconsumo como *“el consumo de energía eléctrica proveniente de instalaciones de generación conectadas en el interior de una red de un consumidor o a través de una línea directa de energía eléctrica asociadas a un consumidor”* [18].

Más adelante, en el Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, se realizó un cambio en la regulación de autoconsumo. Esta modificación, incluyó una nueva definición para el autoconsumo en la que se determina que *“se entenderá como tal el consumo por parte de uno o varios consumidores de energía eléctrica proveniente de instalaciones de generación próximas a las de consumo y asociadas a las mismas”* [19].

Además, se desarrollan los conceptos de autoconsumo con excedentes y sin excedentes. El Real Decreto 244/2019, diferencia dentro de la modalidad de autoconsumo con excedentes, dos nuevas categorías:

- Modalidad con excedentes acogida a compensación: Para los casos en los que el consumidor y el productor opten por acogerse a un mecanismo de compensación por excedentes y cumplan los requisitos. Estos, obligan a que la fuente de energía sea de origen renovable, que la potencia de la instalación no sea superior a 100 kW y que el consumidor y productor asociado hayan suscrito un contrato de compensación de excedentes de autoconsumo. Además, la instalación de producción no puede tener un régimen retributivo adicional.
- Modalidad con excedentes no acogida a compensación: Para los casos en los que no se cumpla alguno de los requisitos para poder acogerse a la compensación simplificada.

El Real Decreto-ley 29/2021, de 21 de diciembre, impulsa el autoconsumo con una medida que modifica el apartado 3.g).iii del Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, permitiendo la realización de autoconsumo colectivo a través de la red para aquellos casos en los que la generación y los consumos se encuentren conectados a una distancia inferior a 500 metros, independientemente del nivel de tensión al que se conecten [20].

En el Real Decreto-ley 18/2022, de 18 de octubre, se acuerda que la distancia permitida para poder acogerse al autoconsumo colectivo a través de la red se vea incrementada hasta los 1.000 metros para los casos en las que las plantas generadoras se encuentren ubicadas en cubiertas [21].

Se está trabajando en una ley a fin de regular las comunidades energéticas. El Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico (MITECO), ha propuesto que tengan un cupo específico en las subastas de Régimen Económico de Energías Renovables (REER) y capacidad en los nudos de la red eléctrica para que se pueda evacuar la producción [39].

Las comunidades energéticas locales, pueden hacer referencia a dos conceptos diferentes [22]:

- Comunidad ciudadana de energía: Esta idea está definida por la 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. En ella se define el concepto de comunidad ciudadana de energía como *“una entidad jurídica que: 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; 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 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 a sus miembros o socios.”* [23]. Estas comunidades hacen referencia a la energía eléctrica pero no especifican la fuente de origen de la energía.
- Comunidades de energías renovables: Este concepto se introdujo a través del Real Decreto-ley 23/2020, de 23 de junio, por el que se aprueban medidas en materia de energía y en otros ámbitos para la reactivación económica, mediante la modificación de varios artículos de la Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico. Se fija el concepto de comunidad de energías renovables como *“entidades jurídicas basadas en la participación abierta y voluntaria, autónomas y efectivamente controladas por socios o miembros que están situados en las proximidades de los proyectos de energías renovables que sean propiedad de dichas entidades jurídicas y que estas hayan desarrollado, cuyos socios o miembros sean personas físicas, pymes o autoridades locales, incluidos los municipios y cuya finalidad primordial sea proporcionar beneficios medioambientales, económicos o sociales a sus socios o miembros o a las zonas locales donde operan, en lugar de ganancias financieras.”* [24]. Este tipo de comunidades incluye el sector térmico y el eléctrico.

Todas las comunidades energéticas, independientemente del tipo que sean, comparten objetivos comunes, orientados a la mejora medioambiental y de la economía local por encima del beneficio económico.

Estos mecanismos ya han sido implementados en otros países del entorno como Alemania, Dinamarca o Países Bajos, con resultados satisfactorios. La finalidad de estas medidas es hacer frente a los retos que plantea Europa respecto a las energías renovables. Mediante las comunidades energéticas, se proporciona a instalaciones renovables un marco retributivo predecible y estable [24].

Este nuevo modelo energético es muy reciente y aún carece de un marco normativo suficientemente desarrollado. Sin embargo, hay 297 proyectos de comunidades energéticas en desarrollo en España [25]. Si bien cada proyecto es único y tiene sus propias características, algunos de los más destacables son [26]:

- COMPTTEM Crevillent: Este proyecto localizado en la provincia de Alicante (Comunidad Valenciana), tiene previsto contar con una potencia instalada de 5 MW en el entorno

urbano del municipio. Se plantea la instalación de instalaciones de autoconsumo en las viviendas además de una planta fotovoltaica. Con el fin de facilitar la autogestión de los recursos disponibles, se cuenta con una aplicación móvil que habilita a los ciudadanos a estar informados a tiempo real de su consumo y factura [27].

- Leintz Bailarako Ekiola S. Coop.: Esta comunidad energética está situada en el valle de Leintz (Gipuzkoa). Se va a construir una planta solar fotovoltaica en Mondragón con una potencia entre 1 y 5 MW. Se va a dimensionar en función del número de vecinos que residen en municipios de la zona y que se vayan a involucrar en el proyecto. La inversión a realizar por los residentes irá en función del consumo energético de su hogar [28].
- Añaneko Ekiola S. Coop.: Esta comunidad energética está localizada en Kuartango (Álava). La potencia pico prevista a instalar es de 1,2 MW que servirán de suministro para aproximadamente 550 consumidores entre los que se encuentran ciudadanos, pymes y entidades locales. La finalidad de este proyecto es reducir los gastos de electricidad para los socios consumidores [32].
- LIFE-JALON Calatayud: Se trata de un proyecto localizado en la comarca de Calatayud (Zaragoza). Se va a instalar 1 MW fotovoltaico de potencia entre instalaciones situadas en tejados y sistemas fotovoltaicos sobre el suelo. Esta comunidad energética, cuenta con un total de 1000 integrantes, entre los que se encuentran vecinos, comercios y ayuntamientos de la zona [29].
- CEL Navarra Toda Energía: Esta comunidad energética engloba 26 municipios de la provincia. El proyecto contará con 46 instalaciones fotovoltaicas de 3285 kW de potencia instalada que aportarán energía a los participantes de la comunidad. Desde la cooperativa, animan a los ciudadanos a unirse asegurando tiempos de amortización de 3 años con los ahorros generados por las instalaciones [30].
- El Rosario SOLAR: Este proyecto ubicado en la comunidad autónoma de Canarias, tiene una previsión de potencia cercana a los 10 MW. Con la energía generada por la comunidad energética, se pretende abastecer a las empresas del Polígono de La Campana, y a los ciudadanos de los municipios que se encuentran en las proximidades, vertiendo a la red los excedentes que pudieran quedar [31].

Las comunidades energéticas surgen en su mayoría, de cooperativas sin ánimo de lucro y están abiertas a la participación de todo aquel que quiera involucrarse en ellas. En todas las comunidades analizadas, se utilizan paneles fotovoltaicos y, en algunas comunidades, se complementa con minihidráulica y aerogeneradores como la que se está planteando. Éstas suelen ser más ambiciosas y engloban a muchos participantes. También las hay que incluyen almacenamiento de energía y movilidad eléctrica. Un ejemplo que engloba todas estas características es el caso de la comunidad energética Medina de Pomar Genera, situada en las Merindades. Se trata de un proyecto que cuenta con una instalación fotovoltaica, mini hidráulica y mini eólica con almacenamiento. [26]

Existen proyectos de diferentes tamaños según el número de interesados en la comunidad y sus consumos. Lo habitual es que se instale entre 0,5 y 1 kW de potencia fotovoltaica por cada ciudadano que participe en la comunidad. Para las empresas, esta cantidad suele ser mayor, en función del consumo que tengan. Puede pasar que la potencia instalada esté limitada por el emplazamiento debido a que no se cuenta con suficiente espacio para instalar mayor cantidad de paneles fotovoltaicos.

Hay diversas formas de organizar una comunidad energética, como se ha visto en los casos mostrados, debido a que se aborda desde diferentes perspectivas. Por ejemplo, un modelo de gobernanza consiste en autoconsumos colectivos de titularidad municipal. La inversión asociada a las placas la realiza el ayuntamiento, convirtiéndose éste en el propietario de la instalación. Parte de la producción de energía se destina a consumos municipales y la energía restante es aprovechada por otros asociados a la configuración de autoconsumo. Para poder beneficiarse de un ahorro en la factura debido al autoconsumo, es necesario que el punto de consumo esté dentro de un rango de distancia, definido por la legislación ya mencionada en este apartado, respecto del punto de generación. Si un vecino cumple este requisito, se podrá asociar al autoconsumo.

También puede darse el caso de que la titularidad de las instalaciones pertenezca a la ciudadanía, por medio de una cooperativa, asociación o empresa que dirige la iniciativa. La entidad local puede apoyar el proyecto cediendo espacios para la construcción de las instalaciones o aportando apoyo técnico externo. En este caso, el proyecto está financiado por los ciudadanos y la energía producida se reparte porcentualmente entre los socios que integren la comunidad energética. Cada usuario puede tener una participación mayor o menor en función de la inversión inicial que esté dispuesto a realizar [33].

4 ESTADO DEL ARTE DE ANÁLISIS ECONÓMICOS

Para poder analizar la viabilidad económica de un proyecto, es necesario tener en cuenta una serie de valores como son:

- El flujo de caja, que expresa el movimiento de dinero que se da dentro del negocio. Lo habitual es que sea los ingresos menos los gastos de explotación y las inversiones. Puede ser representado antes de aplicar los impuestos o después de aplicarlos.
- La tasa de descuento, que sirve para representar el valor del dinero a lo largo del tiempo. Es decir, es de utilidad para cuantificar la pérdida de valor del dinero con el paso del tiempo. Se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$F'_n = \frac{F_m}{(1 + e)^{m-n}} \quad (1)$$

Donde:

F'_n = flujo de dinero en el periodo n

F_m = flujo de dinero en el periodo m

e = tasa de inflación constante

- El valor actual representa el valor que tiene en la actualidad una cantidad de dinero que se recibirá en un futuro. Puede ser calculado mediante la siguiente fórmula:

$$PV = \frac{F_n}{(1 + d)^n} \quad (2)$$

Donde:

PV = valor actual

F_n = flujo de dinero en el periodo n

d = tasa de interés del periodo

4.1 Indicadores económicos

Existen diferentes métodos de análisis económicos para consultar antes de hacer una inversión. Según el tipo de inversión que se vaya a realizar, hay indicadores financieros que se adecúan mejor o peor. El objetivo de estos indicadores es dar una idea de la rentabilidad de una inversión. A continuación, se muestran algunos de los más destacables.

4.1.1 Valor actual neto

El valor actual neto (VAN) es la diferencia entre el valor actual de los ingresos menos el valor actual de los gastos. Se puede representar mediante la siguiente fórmula:

$$VAN = \sum_{n=0}^N \frac{F_n}{(1 + d)^n} \quad (3)$$

Donde:

F_n = flujo de dinero en el periodo n

N = periodo de análisis

d = tasa de interés del periodo

Cuando en un proyecto se cuenta con una inversión inicial que supone la financiación total del proyecto, y en las etapas futuras se tienen unos flujos de caja variables, se puede expresar el VAN como:

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{F_n}{(1+d)^n} + V_r \quad (4)$$

Donde:

- I= inversión total inicial
- F_n= flujo de dinero en el periodo n
- N= periodo de análisis
- V_r= valor residual de la inversión al final de su vida
- d= tasa de interés del periodo

Si el VAN es negativo, no se debe realizar la inversión puesto que la valoración de los flujos de caja es inferior a la inversión inicial. Por el contrario, cuando es positivo, se podrá aceptar la inversión. A la hora de comparar 2 proyectos, será más rentable el que presente un VAN superior.

4.1.2 Tasa interna de retorno

La tasa interna de retorno (TIR) es el tipo de descuento que iguala el valor de los flujos de entrada y salida de una inversión en el momento que se inicia esta. Es decir, es la que iguala el valor actual de los flujos netos al valor inicial de la inversión, lo que implica que el valor actual neto, es igual a cero. La TIR es la tasa de interés d que se obtiene de la siguiente ecuación:

$$0 = -I + \sum_{n=1}^N \frac{F_n}{(1+d)^n} + V_r \quad (5)$$

Donde:

- I= inversión total inicial
- F_n= flujo de dinero en el periodo n
- N= periodo de análisis
- V_r= valor residual de la inversión al final de su vida

Este indicador puede ser considerado como la tasa de interés que aporta el proyecto en el que se pretende invertir. El resultado de esta ecuación es un polinomio de orden N que implica N raíces. La solución será la que sea real y positiva, es decir, no se tienen en cuenta las soluciones imaginarias ni negativas.

La TIR, que representa la tasa de interés que el proyecto en el que se va a invertir puede proporcionar, permite determinar cuándo una inversión es deseable o no. Si es superior a la tasa de interés a la que la empresa puede obtener fondos, la inversión será apropiada en caso de que el incremento de esta tasa merezca la pena dado el riesgo que conlleva una inversión. Al comparar entre varios proyectos para invertir, se escogerán los que tengan mayor TIR porque representan mayor beneficio por euro invertido.

Este indicador, no tiene en cuenta que el tipo de interés puede variar para los diferentes periodos.

4.1.3 Tasa única de retorno

La tasa única de retorno (TUR) se utiliza para considerar diferentes tipos de interés resolviendo el problema que implica el uso de la TIR. Para ser calculado, los egresos (gastos e inversiones) netos se trasladan al momento inicial y los ingresos netos se trasladan al momento final, es decir, se realiza un sumatorio de los valores presentes de todos los egresos y un sumatorio de los valores futuros de los ingresos. Se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$\sum_{n=0}^N \frac{F_n^n}{(1+d)^n} = \sum_{n=0}^N \frac{F_n^p \cdot (1+d)^{N-n}}{(1+r)^n} \quad (6)$$

Donde:

F_n^n = flujo de dinero negativo en el periodo n

F_n^p = flujo de dinero positivo en el periodo n

N= periodo de análisis

d= tasa de interés del periodo

r= TUR, lo que se pretende calcular con la fórmula (6)

La TUR puede ser utilizada para valorar diferentes alternativas para poder tomar la decisión más adecuada [34].

4.1.4 Tiempo de amortización simple o Payback simple

El tiempo de amortización simple representa el número mínimo de periodos necesarios para que se recupere la inversión. Este parámetro no tiene en cuenta el valor actual del dinero. El Payback simple es el periodo N en el que la ecuación (7) se iguala.

$$\sum_{n=0}^N I_n \leq \sum_{n=0}^N F_n \quad (7)$$

Donde:

I_n = inversión en el periodo n

F_n = flujo de dinero en el periodo n

Es un indicador que destaca por su sencillez, además de ser muy útil a la hora de evaluar el riesgo de una inversión. Cuando la intención sea minimizar los daños en caso de que salga mal la inversión, se va a optar por alternativas con el tiempo de amortización más bajo.

Sin embargo, este método no se considera el tamaño de la inversión, ni las ganancias tras el tiempo de amortización y tampoco tiene en cuenta la devaluación del dinero.

4.1.5 Tiempo de amortización descontado

El tiempo de amortización descontado es un indicador que funciona como el Payback simple, pero considerando la devaluación del dinero tal y como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\sum_{n=0}^N \frac{I_n}{(1+d)^n} \leq \sum_{n=0}^N \frac{F_n}{(1+d)^n} \quad (8)$$

Donde:

I_n = inversión en el periodo n
 F_n = flujo de dinero en el periodo n
 d = tasa de interés del periodo

A pesar de resolver uno de los problemas que tiene el tiempo de amortización simple, no se considera ni el tamaño de la inversión, ni los flujos de dinero después del periodo en el que se amortiza.

4.1.6 Beneficio anual equivalente

El beneficio anual equivalente (BAUE) representa el equivalente anual de flujo de caja de varios flujos de caja. Para calcularlo, se trabaja con todos los flujos de dinero en el periodo analizado transformados al valor actual tal y como se muestra en la ecuación (9).

$$BAUE = \frac{d \cdot (1+d)^N}{(1+d)^N - 1} \cdot \sum_{n=0}^N \frac{F_n}{(1+d)^n} \quad (9)$$

Donde:

F_n = flujo de dinero en el periodo n
 d = tasa de interés
 N = periodo de análisis

Si se están midiendo las ganancias, cuanto mayor sea este indicador, mejor. Este método es útil en las ocasiones en las que el VAN y la TIR no sean del todo determinantes [35]. En caso de que solo se realice una inversión inicial, la inversión será rentable económicamente siempre y cuando se cumpla la ecuación (10).

$$F > \frac{d \cdot (1+d)^N}{(1+d)^N - 1} \cdot I \quad (10)$$

Donde:

F = flujo de caja anual
 I = inversión inicial
 d = tasa de interés
 N = periodo de análisis

4.1.7 Requisitos de ingresos

Los requisitos de ingresos son el total de ganancias que hay que obtener para compensar todos los costes del proyecto. Se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Requisitos de ingresos} = \frac{I - (T \cdot PV_{Dep}) + PV_{O\&M} \cdot (1 - T)}{1 - T} \quad (11)$$

Donde:

- I= inversión inicial
- T= impuesto sobre la renta
- PV_{Dep}= valor actual de los gastos de amortización
- PV_{O&M}= valor actual de los costes de operación y mantenimiento

Para organizaciones sin ánimo de lucro, clientes residenciales y entidades públicas, no se aplica el impuesto sobre la renta. Entonces, la fórmula se simplifica a la siguiente expresión:

$$Requisitos\ de\ ingresos = I + PV_{O\&M} = I + \sum_{n=0}^N \frac{OM_n}{(1+d)^n} \quad (12)$$

Donde:

- I= inversión inicial
- PV_{O&M}= valor actual de los costes de operación y mantenimiento
- OM_n= costes de operación y mantenimiento en el periodo n

4.1.8 Coste nivelado de la energía

El Coste nivelado de la energía, o (LCOE) por sus siglas en inglés (levelised cost of energy) es un indicador que permite calcular el coste de producir una unidad de energía en una instalación teniendo en cuenta la generación total a lo largo del periodo de análisis que representa la vida útil de la instalación. Se puede calcular mediante la ecuación (13).

$$LCOE = \frac{I + \sum_{n=0}^N \frac{OM_n}{(1+d)^n}}{\sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+d)^n}} \quad (13)$$

Donde:

- I= inversión inicial
- OM_n= gastos de operación y mantenimiento en el periodo n
- d= tasa de interés
- Q_n= Electricidad generada en el periodo n

Con este indicador, se puede comparar los precios de diferentes alternativas para poder determinar cuál es más competitiva [40].

4.2 Análisis multi-agente

Para modelos de negocio complejos en los que hay varios actores que deben cooperar, los métodos tradicionales mostrados anteriormente no son suficiente ya que no se contempla la interrelación entre los distintos agentes. No obstante, es necesario ampliar el ámbito del análisis. Existen métodos de análisis de modelo de negocio tradicionales, como el Canvas que tampoco son adecuados porque, a pesar de que sí se considera alguna interacción fuera del agente principal, están enfocados en éste y los colaboradores pasan a segundo plano.

Un análisis multi-agente es una forma de estudio de modelo de negocio que se utiliza para satisfacer una necesidad del mercado (que no haya sido resuelta), introducir objetos de valor (tecnologías/productos/servicios) al mercado, mejorar un mercado ya existente con un mejor

modelo de negocio, o crear un mercado nuevo. La definición de modelo de negocio es algo imprecisa y tradicionalmente, se ha tratado desde una perspectiva orientada a la tecnología, a la estrategia o a las organizaciones.

El análisis multi-agente plantea un sistema formado por diferentes actores que interactúan entre ellos. De esta forma, se permite analizar un modelo de negocio desde distintas perspectivas teniendo en cuenta los intereses de las diferentes personas que participan en él. No obstante, la finalidad de un análisis multi-agente será detallar cómo colabora un conjunto de agentes para alcanzar ciertos objetivos.

Una forma de analizar un sistema de negocio en el que intervienen varios actores es reproducir gráficamente la idea de negocio representando las actividades de valor. Estas tareas son las actividades que realiza un actor para obtener beneficio, y los intercambios de objetos de valor entre los diferentes agentes [36] [38] [49].

4.2.1 Modelo e³ value

Mediante este enfoque de modelo de negocio multi-agente que representa e³ value, se pretende favorecer la comunicación y la comprensión del valor de una idea de negocio innovadora. Mediante su implementación, también se pretende determinar la viabilidad económica del negocio desde la perspectiva de los agentes involucrados.

Esta herramienta es usada como método de modelado gráfico y conceptual, definiendo aspectos del mundo de una forma visual, lo que facilita la comprensión y la comunicación. Como se tiene en cuenta el valor económico, se puede tratar de conseguir el beneficio económico de los actores.

Para poder aplicar el modelo e³ value, hay que modelar los diferentes conceptos que se tienen en cuenta y que son:

- Actor: Desde el punto de vista del sistema, se trata de una entidad económicamente independiente. Concretamente, cada actor es responsable de las ganancias y pérdidas, de financiarse, de proveer servicios y de su supervivencia y bienestar. En una red económicamente viable, todos los actores pueden sobrevivir, y en una red sana, los involucrados pueden prosperar. En e³ value, se representan mediante un rectángulo.
- Segmentos de mercado: Un conjunto de actores que dotan de valor de la misma forma a los objetos se pueden agrupar como un segmento de mercado. En e³ value, se representa con tres actores apilados.
- Actividad de valor: Hace referencia a las tareas que realizan los actores para obtener un beneficio, bien sea en forma de flujo de dinero positivo o en términos de una actividad de utilidad. En e³ value, se representan mediante un rectángulo con los bordes redondeados.

Cuando 2 o más actores intercambian objetos de valor para satisfacer una necesidad, se trata de una transacción económica. En éstas, se consideran los siguientes conceptos:

- Objeto de valor: Se trata de un elemento, sea dinero o no, que posee valor económico para al menos un actor de dentro del modelo y satisface una necesidad directa o indirectamente. Se representa en e³ value mostrando el nombre del objeto entre corchetes, cerca de la transferencia de valor.
- Puerto de valor: Representa la disposición de un actor o un segmento de mercado, de adquirir o proveer un objeto de valor. Cuando la intención sea obtener un objeto de valor, se representa con un pequeño triángulo que señala hacia el actor que quiere obtener ese objeto. Si la voluntad es de proporcionar un objeto de valor, se representa mediante un triángulo señalando en dirección opuesta al actor que ofrece ese objeto.
- Transferencia de valor: Cuando un actor quiere proveer un objeto de valor y otro actor demanda ese mismo objeto, se realiza una transferencia de valor. También pueden ser segmentos de mercado en lugar de actores. En e³ value, se representa con una línea que une un puerto de valor de salida con uno de entrada, nombrados con el objeto de valor transferido.

La finalidad de e³ value es analizar una idea de negocio y descubrir diferentes situaciones basadas en las alternativas que se pueden dar en el modelo de negocio para encontrar el escenario que beneficie en mayor medida a todos los agentes. No se trata de definir la idea de negocio, sino más bien en analizarla minuciosamente.

Para definir el escenario de negocio, es necesario seguir unas pautas para tener éxito a la hora de hacer un análisis multi-agente, como el del modelo e³ value [36] [37] [38] [49]:

- Descripción de la idea de negocio: Este paso, consiste en definir la idea para poder diferenciar lo que debe ser modelado de lo que no merece la pena incluir en el modelo. Hay que incluir todos los actores involucrados y las actividades de valor que éstos realizan.
- Establecer los objetivos: Se trata de definir los objetivos que los diferentes agentes involucrados quieren conseguir con la idea de negocio. Dado que los actores buscan lograr el máximo beneficio, los objetivos de unos pueden ser perjudiciales para otros actores. Puede darse que varios agentes compartan una misma meta. Pueden ser estratégicos (si son a largo plazo) u operacionales (si son a corto plazo).
- Elegir la tecnología: Seleccionar la tecnología más adecuada para cumplir los objetivos, tanto los estratégicos como los operacionales.
- Determinar las actividades de valor: Consiste en definir las actividades de valor que tienen que incluirse en el modelo. Es habitual que cada objetivo tenga una actividad de valor asociada.
- Seleccionar la interfaz de valor: Se escogen de una librería las interfaces necesarias para modelizar la idea de negocio. Se representan gráficamente mediante una casilla ovalada que contiene los puertos.
- Conexión de los puertos: Las interfaces deben estar conectadas entre sí por medio de los puertos.



- Selección de los actores: A cada una de las actividades de valor hay que asignarles un actor que las ejecute. Un agente puede hacer más de una actividad de valor de la misma forma que una actividad de valor, puede ser ejecutada por más de un agente.
- Identificación de los caminos: Se puede explicar el comportamiento de un sistema analizando la relación de causa-efecto al recorrer los diferentes caminos que conforman el modelo. Comenzando por el actor que comienza el intercambio de valor, y observando los intercambios que se realizan como consecuencia de haber comenzado la primera acción. Con esto, se puede determinar el número de interacciones de valor que se dan en un determinado periodo de tiempo.
- Creación del modelo de sistema de información: Para terminar de construir el modelo de valor, queda definir un sistema de comunicación en el que se apoye el modelo.
- Cálculos de rentabilidad: La principal razón de ser de la evaluación de un modelo de negocio es determinar la viabilidad económica y determinar el escenario que genera más beneficios para todos los agentes involucrados.
- Análisis de sensibilidad: Consiste en crear diferentes escenarios de mercado que pueden hacer que el sistema varíe y ver el comportamiento del modelo ante estas variaciones. Puesto que el beneficio de los diferentes agentes está ligado a muchas variables, es importante comprobar la rentabilidad ante posibles escenarios futuros.
- Análisis de inversión: Una vez se ha escogido un escenario, hay que realizar un análisis financiero. Para esto, se pueden utilizar los indicadores mostrados en el punto 4.1.

5 COMUNIDAD ENERGÉTICA A ESTUDIAR

Se va a suponer que existe una sociedad cooperativa para el suministro y gestión de los servicios de agua caliente y de calefacción a las viviendas de una comunidad de vecinos en régimen centralizado. Se pretende incluir una instalación destinada al autoconsumo colectivo y crear una comunidad energética en dicha sociedad cooperativa.

5.1 Descripción del emplazamiento

Se considera que la cooperativa está situada en la cornisa cantábrica y que está compuesta por 500 socios. Para abastecer las necesidades térmicas de los vecinos, cuenta con una caldera de gas natural de tipo de condensación 2.000 kW de potencia, 2 calderas de gas natural con quemador sobrepresionado de 4.000 y 2.000 kW, una caldera de biomasa de 500 kW, 1 motor de cogeneración con 1.000 kW de potencia térmica y algunos paneles solares térmicos.

Las instalaciones existentes se han utilizado para producir y distribuir energía térmica mediante su red de calor propia entre los socios que la componen. Además, gracias a la central de cogeneración, también se ha estado produciendo energía eléctrica con el fin de venderla a la red.

Existe un proyecto para la instalación de una planta de energía fotovoltaica de 100 kW. Esta planta se situará en el centro del vecindario, donde no existe mucho espacio, por lo que la potencia a instalar estará limitada por el emplazamiento. Debido a esto, solo 100 socios de los 500 que conforman la cooperativa podrán adscribirse a la comunidad energética. La generación de esta planta se destinará al autoconsumo, lo que resultará en una reducción en la factura eléctrica que pagan los socios de ésta.

5.2 Precios de la energía

5.2.1 Coste de la energía

El coste de la electricidad se toma a un precio fijo de 0,23 €/kWh. Esto quiere decir que no se trata de una tarifa variable con discriminación horaria, sino que el precio que cuesta el kWh consumido es de 0,23 €, independientemente del momento de consumo.

El precio del agua caliente sanitaria (ACS) y de la calefacción es de 0,09 €/kWh. Al igual que el precio de la electricidad, éste es constante a lo largo del año, es decir, no varía para cada hora.

5.2.2 Precio de venta de los excedentes

El precio de venta de los excedentes, de acuerdo con el Real Decreto 244/2019 y para la modalidad con excedentes simplificada, es prácticamente el precio del mercado de energía eléctrica. El precio del mercado diario eléctrico en 2022 en España fue el que se refleja en la Figura 5-1.

Precio del mercado eléctrico 2022

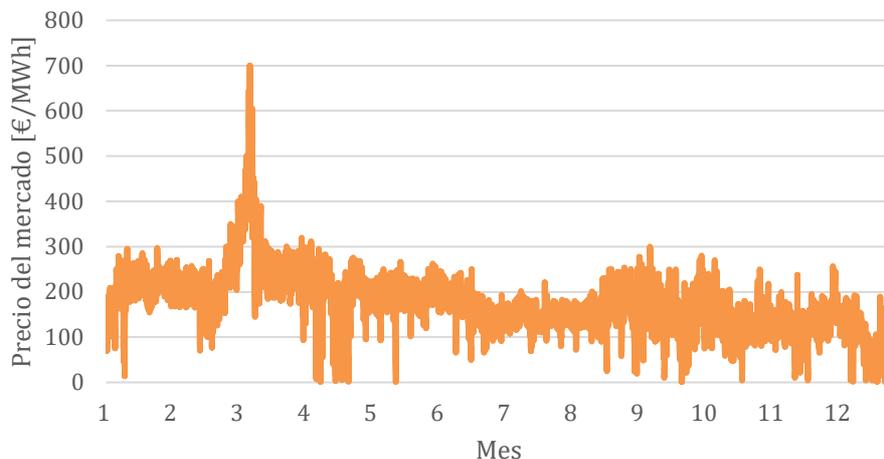


Figura 5-1: Precio del mercado eléctrico en 2022.

El precio del mercado es variable a lo largo de todo el año. Como depende de muchos factores, puede darse el caso de que surja un pico, como el que se da en el mes de marzo, que no refleja lo que puede pasar en otros años. En este caso, el incremento brusco del precio de la energía se debió al conflicto armado en Ucrania, que disparó los precios de la energía en toda Europa [41]. Para poder realizar un análisis más adecuado, conviene tomar datos que puedan asimilarse a años tipo. En la Figura 5-2, se muestra el precio del mercado eléctrico de 2023 hasta el 7 de julio y, a partir de esa fecha, los precios de 2022.

Precio del mercado eléctrico 2023/2022

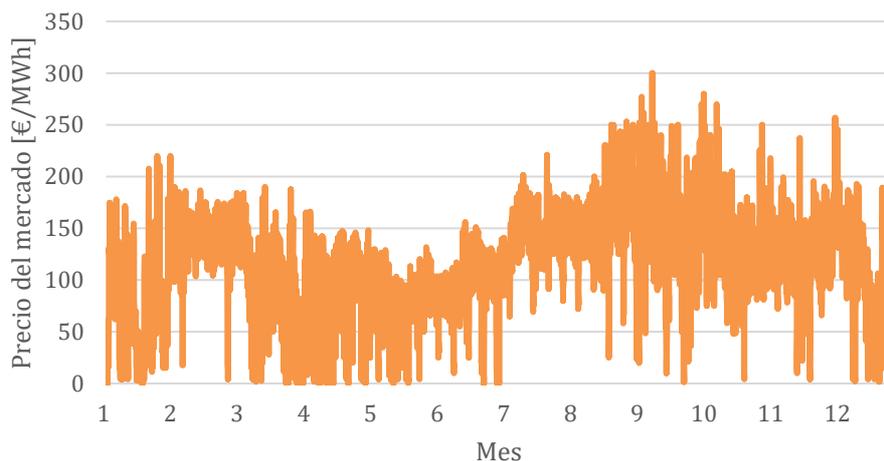


Figura 5-2: Precio del mercado de 2023 (hasta julio) y 2022 (desde julio).

El cambio entre los precios de 2023 y 2022 es más que notorio y se ve cómo la tendencia para 2023 es más baja que para 2022. Esto se debe a la excepción ibérica [50], medida tomada para limitar el precio de la energía. Sin embargo, el análisis va a ser más genérico si se utilizan los datos de 2023 y 2022 mezclados que si solo se utilizan los de 2022, porque no hay ningún pico destacable como el que se veía en la Figura 5-1 [42].

En los momentos en los que el MWh tenga un valor de más de 230 € (0,23 €/kWh) en el mercado, la empresa distribuidora tendrá pérdidas, ya que estarán vendiendo la energía a un precio inferior al que la están comprando. Para determinar los precios más repetidos en el mercado eléctrico, en la Figura 5-3, se muestra el histograma de precios de la energía del mercado.

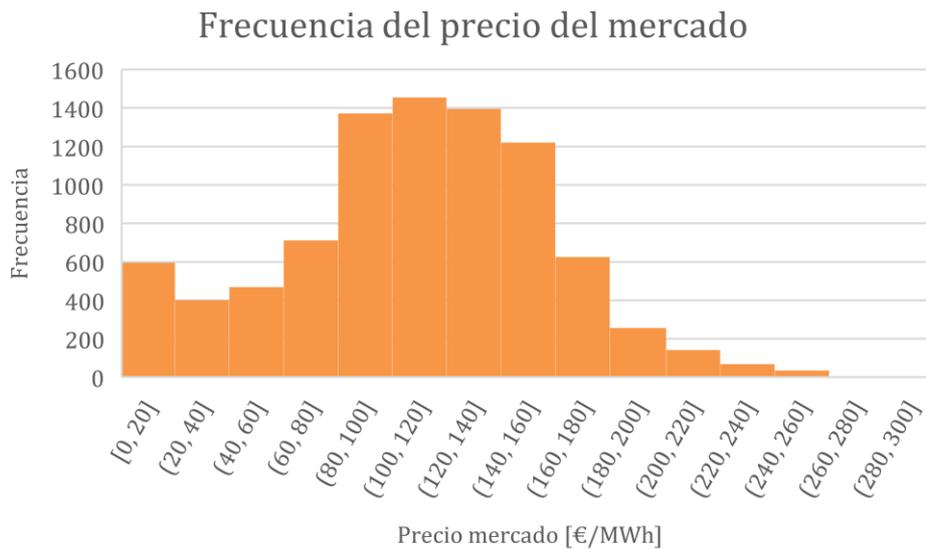


Figura 5-3: Repetición de los precios del mercado.

El precio del mercado será superior al de compra de la energía (0,23 €/kWh) en muy pocas ocasiones, por lo que el autoconsumo será la opción económicamente más viable en la mayoría de las situaciones. El rango de precios más común está entre los 100 y 120 €/MWh.

5.3 Consumo

A la hora de estudiar el consumo de los socios de la comunidad, se diferencia entre calefacción, agua caliente sanitaria (ACS) y electricidad. Las 500 viviendas (correspondientes a cada socio), están distribuidas en diferentes edificios. Desde Tecnalia, se han facilitado datos de consumo de un edificio promedio. Este edificio con el que se va a trabajar cuenta con 8 viviendas ocupadas (cada una corresponde a un socio diferente).

La media de consumo de calefacción anual por edificio está reflejada en la Figura 5-4.



Consumo medio de calefacción

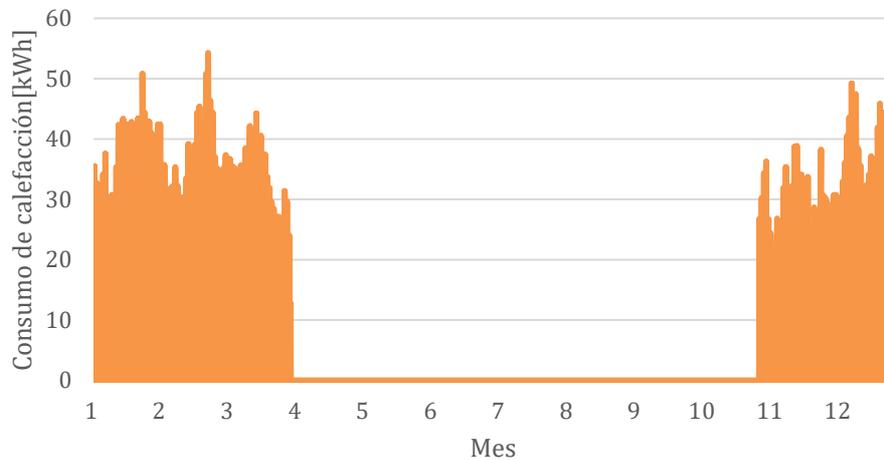


Figura 5-4: Consumo de calefacción medio anual de un edificio en kWh.

Como el clima en la zona no es muy frío, el consumo en calefacción no es excesivamente alto. La calefacción es utilizada únicamente en la temporada fría, que abarca los meses de enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre. Lo normal es que no se consuma más de 50 kWh mensuales de media por edificio, aunque, en alguna ocasión, esta cifra pueda ser superada. Teniendo en cuenta que cada edificio tiene de media entre 8 y 9 viviendas ocupadas, el consumo por vivienda, rara vez supera los 6 kWh.

Para poder analizar la curva con más detalle, en la Figura 5-5 se muestra el consumo medio de calefacción por edificio para los primeros 10 días del año.

Consumo medio de calefacción

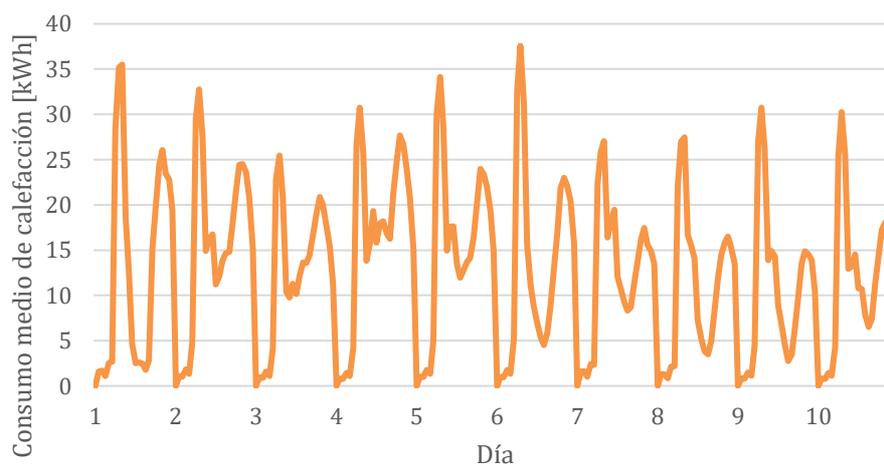


Figura 5-5: Consumo de calefacción medio de un edificio en 10 días.

El consumo diario se caracteriza por tener dos picos de demanda, uno a la mañana y otro a la tarde-noche. El pico que se da a las primeras horas del día es algo más alto y estrecho, lo cual quiere decir que se requiere de más energía, pero durante menos tiempo.

El consumo medio de ACS no se va a ver afectado de la misma forma que el consumo de calefacción por las temporadas puesto que se tiene demanda de ACS a lo largo de todo el año. En la Figura 5-6, se muestra el consumo medio de ACS en un edificio a lo largo de un año.

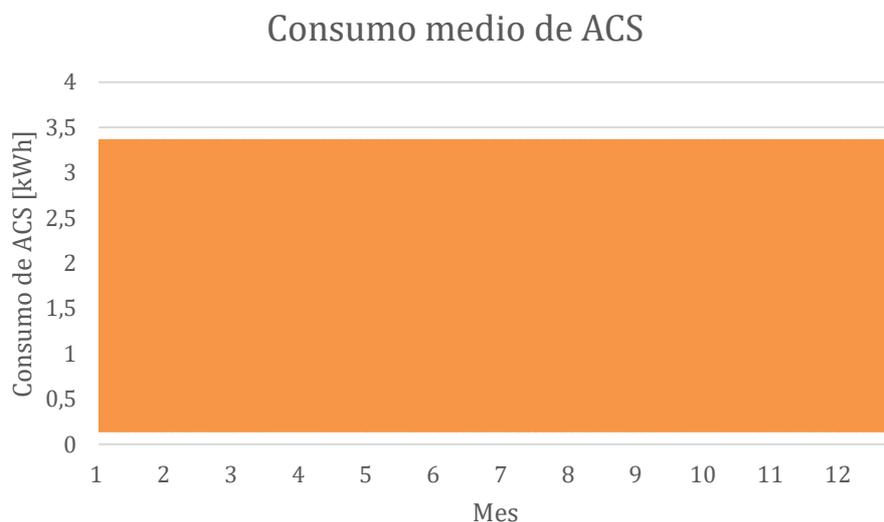


Figura 5-6: Consumo de ACS medio anual de un edificio.

Tal y como se muestra en la gráfica de la Figura 5-6, el consumo a lo largo del año se ha supuesto regular y sin variaciones entre los diferentes meses. Deberían de ser apreciadas algunas variaciones estacionales, sin embargo, al no tener los datos reales, se ha hecho una estimación y es por eso por lo que no existen variaciones estacionales. En ningún momento sobrepasa los 3,5 kWh de consumo por edificio lo cual implica menos de 0,4 kWh por vivienda. De esta gráfica, no se pueden sacar conclusiones, ya que no se aprecia diferencia alguna en el consumo.

Con el fin de estudiar el consumo de ACS, en la Figura 5-7, se muestra el consumo medio de ACS durante los primeros 10 días del año para un edificio.

Consumo medio de ACS

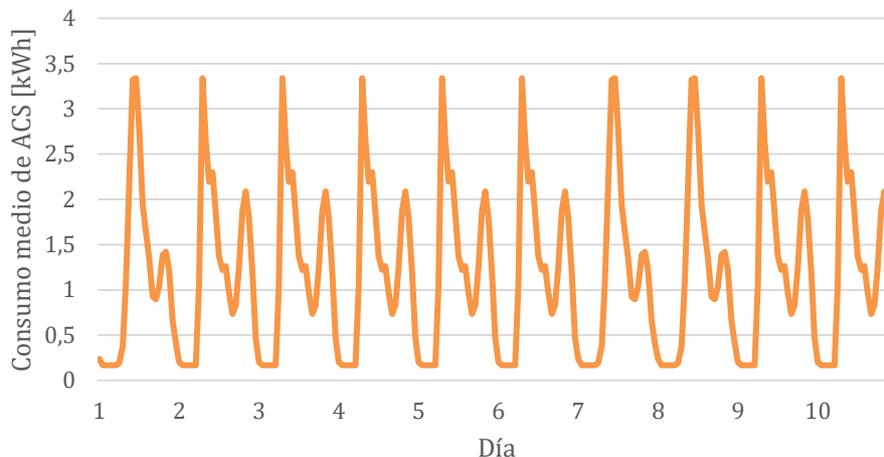


Figura 5-7: Consumo medio de ACS de un edificio en 10 días.

El consumo de ACS es periódico y tiene su máximo a la mañana y se ve muy reducido por las noches. A diferencia de la calefacción, la demanda de ACS se da durante los 12 meses del año, independientemente de las condiciones atmosféricas.

Como se puede observar en la Figura 5-7, las curvas son distintas según si el día es festivo o laboral. En la Figura 5-8, se muestran las curvas de consumo medio de ACS para un día festivo y un día laboral de un edificio en 24 horas.

Consumo medio de ACS

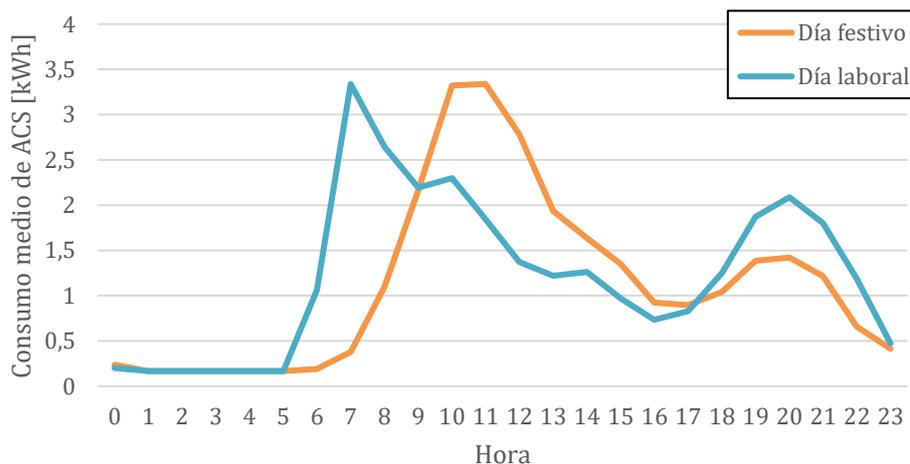


Figura 5-8: Consumo medio de ACS un día festivo y otro laboral en un edificio.

En un día festivo, se puede observar un aumento en el consumo a partir de las 7 de la mañana y llega a su máximo durante las 10 y las 11. Pasada la una del mediodía, el consumo baja y no vuelve a superar los 2 kWh en lo que queda de día.



Para los días laborales, a las 6 de la mañana, ya comienza a aumentar la demanda y llega a su máximo una hora más tarde. Luego, tiene una tendencia decreciente hasta las 5 de la tarde, cuando aumenta, aunque sin llegar al nivel del primer pico, y más tarde disminuye a medida que se acaban las últimas horas del día.

El consumo eléctrico, al igual que el ACS, no variará en función de las condiciones atmosféricas, como sí lo hace el consumo para calefacción. En la Figura 5-9, se muestra el consumo eléctrico medio a lo largo de un año para un edificio.

Consumo medio de electricidad

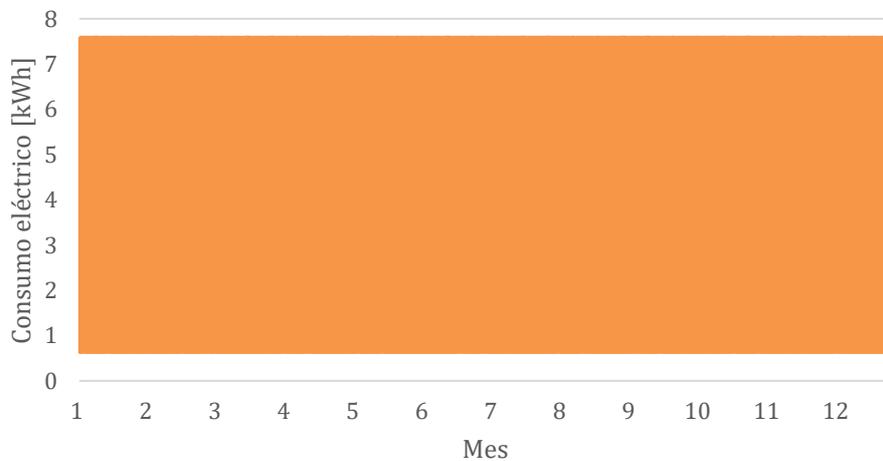


Figura 5-9: Consumo eléctrico medio de un edificio durante un año.

Los datos de consumo eléctrico han sido simulados, porque no se contaba con las mediciones para utilizar datos reales. No se aprecian variaciones estacionales, a pesar de que deberían apreciarse (solo por la diferencia de luminosidad en el exterior) y el consumo oscila entre los 0,5 kWh y los 7,5 kWh. Para poder estudiar el consumo eléctrico, la gráfica de la Figura 5-9, no es de utilidad, ya que no se puede diferenciar la curva de consumo. Por lo tanto, se debe tomar una muestra de tiempo menor, como la que se ha tomado en la Figura 5-10.



Consumo medio de electricidad

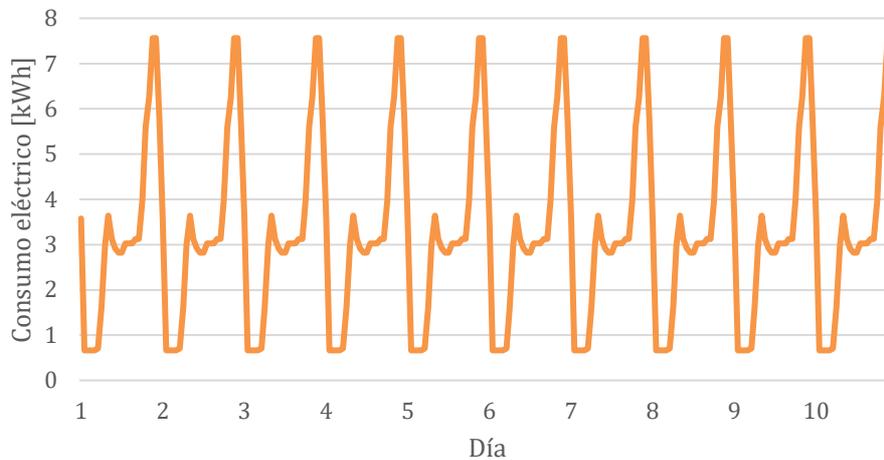


Figura 5-10: Consumo eléctrico medio de un edificio durante 10 días.

En esta gráfica, se puede ver con más detalle la forma que toma el consumo en el día a día. Al contrario que para el ACS, aquí no hay diferencia entre días festivos y días laborales. En un caso en el que los datos fueran los medidos en la realidad, se notaría más claramente la diferencia entre los días laborales y los festivos, pero como no se tienen los datos de consumo eléctrico, éstos son más que válidos para poder realizar el análisis. Se puede analizar un día para poder comprender la curva que supone el consumo eléctrico. En la Figura 5-11, se muestra el consumo medio de electricidad de un edificio en un día.

Consumo medio de electricidad

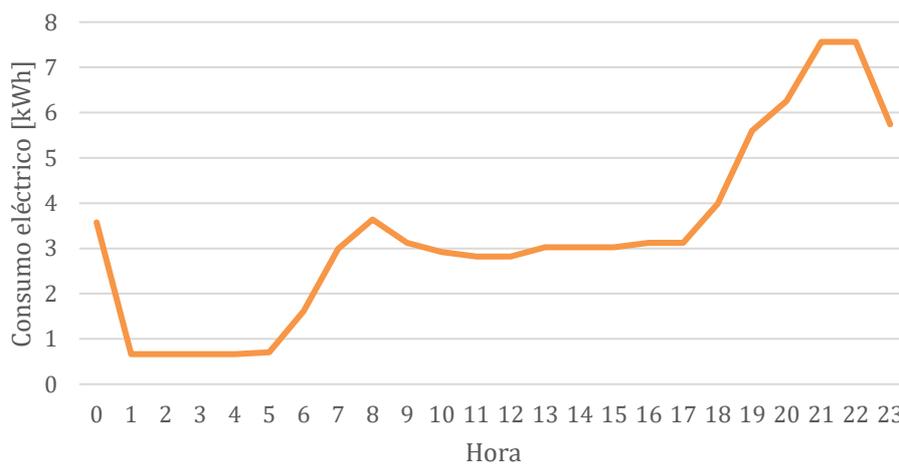


Figura 5-11: Consumo eléctrico medio de un edificio en un día.

El consumo eléctrico desciende al mínimo a la una de la madrugada y comienza a aumentar a partir de las 6. Durante estas horas, no hay sol, por lo que no se genera energía fotovoltaica. Esta demanda podría ser cubierta mediante energía almacenada de los excedentes que se pudieran dar durante las horas de generación. El pico de consumo se da a las 9 y a las 10 de la noche, horas en las que no hay generación fotovoltaica o es muy baja. Por eso, si se quiere

hacer una instalación dedicada al autoconsumo conectada a la red (sin almacenamiento), no se debe dimensionar la instalación para cubrir esta demanda. A las horas que más generación hay, el consumo medio por edificio es de aproximadamente 3 kWh.

5.4 Simulación de la generación

Para poder determinar la producción asociada a la tecnología de las placas fotovoltaicas se ha recurrido a *pvgis* [43]. Esta herramienta de simulación permite calcular la generación de una instalación en un emplazamiento predeterminado. Para poder usarla, es necesario definir el año para el cual se tomarán los datos de radiación solar, las coordenadas del lugar y algunas características de la instalación a montar.

Para esta comunidad, el emplazamiento se va a suponer con una latitud de $43,30^\circ$ norte y longitud $2,00^\circ$ oeste. Como *pvgis* no ofrece datos más actuales que de 2020, y este fue un año bisiesto, se van a seleccionar los datos de 2019 para que coincida el número de días con los de los datos de consumo y con los precios de compra y venta de la energía. Para el tipo de montaje, se ha escogido uno fijo y con inclinación de 36° orientado al sur (azimut 0°). Para hacer un análisis inicial, se ha supuesto una potencia fotovoltaica pico instalada de 1 kW para poder extrapolar de una forma más sencilla a instalaciones de otros tamaños, y unas pérdidas totales del sistema de 14 % que es un valor habitual en instalaciones de este tipo.

En la Figura 5-12, se pueden ver los resultados de la simulación realizada. Se muestra la energía generada por la planta fotovoltaica descrita en el párrafo anterior durante un año.

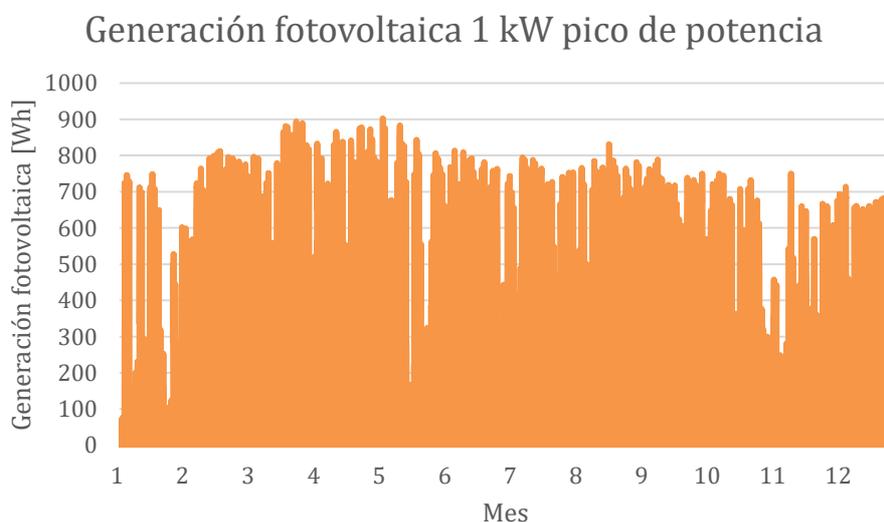


Figura 5-12: Energía generada por una planta de 1 kW de potencia pico instalada.

En la gráfica se puede comprobar cómo existen días en los que la generación es menor debido a la variación de las condiciones atmosféricas. Los valles que se observan pueden deberse a días nublados en los que la radiación directa, que es la que más energía aporta, es prácticamente nula.

En la Figura 5-13, se muestra con más detalle la generación potencial de una instalación de 1 kW de potencia pico en la comunidad. Los datos han sido tomados de los primeros 10 días de marzo.

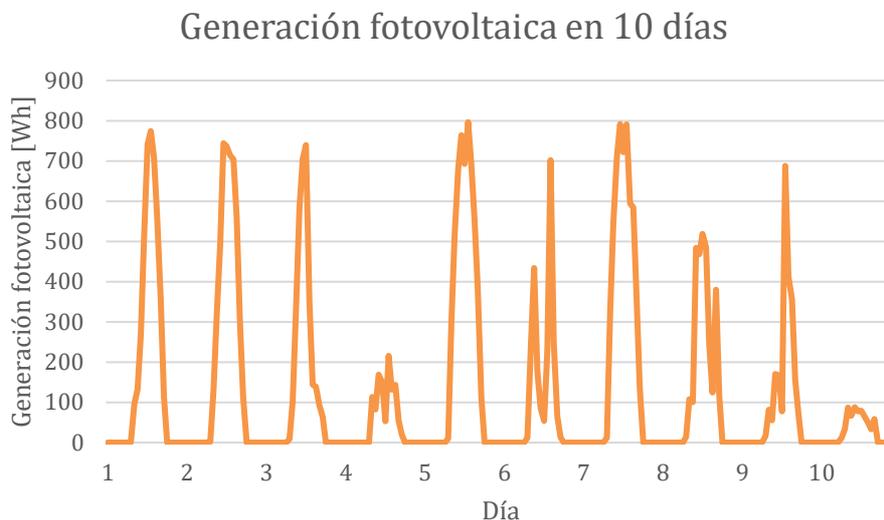


Figura 5-13: Generación fotovoltaica con una instalación de 1 kW pico en 10 días.

Con esta gráfica ya se puede diferenciar la variación diaria. Por las noches, al no haber radiación solar, no hay generación. Se pueden ver curvas de diferentes características. Esto se debe a que, para cada día, las condiciones atmosféricas cambian, lo cual implica que tanto la energía captada como el rendimiento varíen. Se puede observar que el máximo de generación se da al mediodía, pero para poder analizar con más precisión la curva, en la Figura 5-14, hay una gráfica con la curva correspondiente a un día (1 de marzo), obtenido de la Figura 5-12.

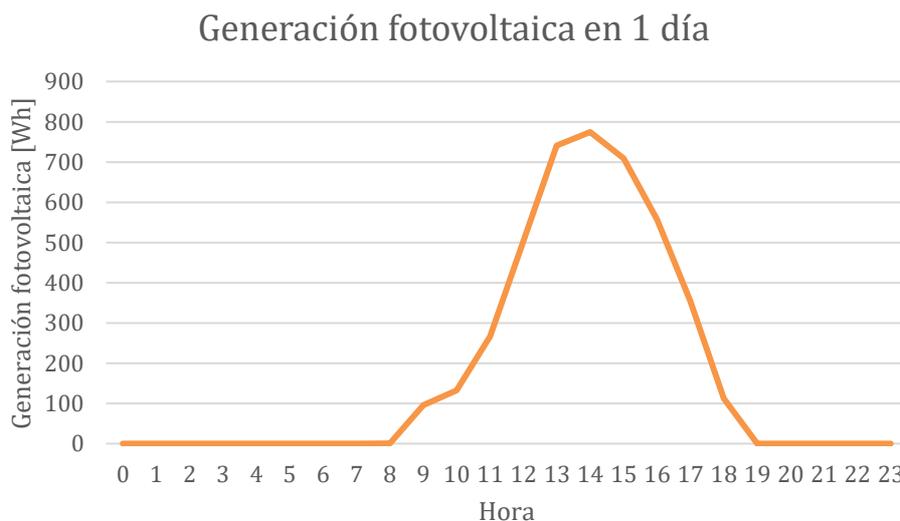


Figura 5-14: Generación fotovoltaica con una instalación de 1 kW pico en 1 día.

En el día que se está analizando, se puede observar que, hasta las 9 de la mañana, toda la producción que se haya podido generar es despreciable. A partir de esa hora, la curva va en aumento hasta alcanzar su máximo a las 2 del mediodía. A partir de entonces, se genera

menos hasta que, a las 7 de la tarde, la producción vuelve a ser nula. Es un día con una radiación notable y poco nublado.

5.4.1 Generación frente a consumo

Como la principal característica del autoconsumo es que la producción fotovoltaica se consume cerca del emplazamiento donde se ha generado, es de gran interés comparar la curva de consumo con la curva de generación. En la Figura 5-15, se muestra una gráfica con la generación para varias potencias y el consumo en un día.

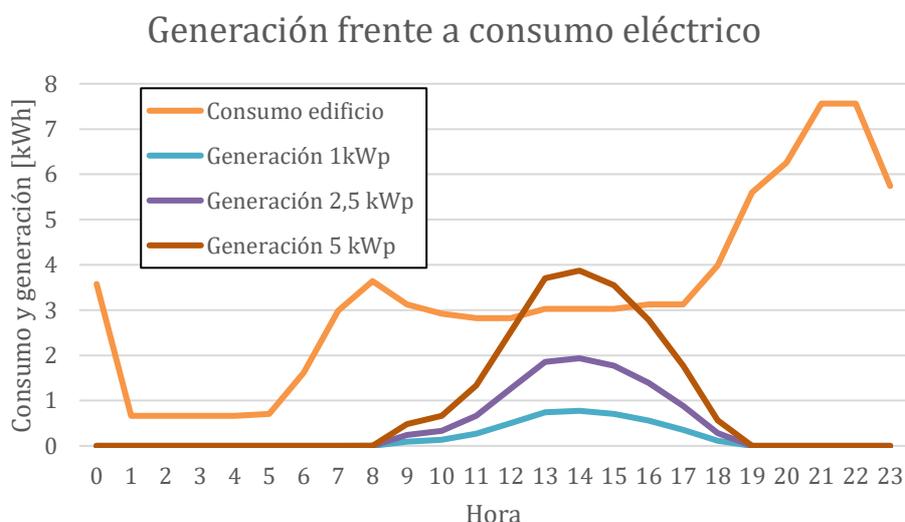


Figura 5-15: Generación frente a consumo eléctrico en un edificio para diferentes potencias instaladas.

En la gráfica, se muestra el consumo de un día normal con la generación del día 1 de marzo, la misma curva que se mostraba en la Figura 5-14. La curva de generación que más se ajusta a la curva de demanda es la que pertenece a la instalación de 5 kW de potencia pico instalada. Esto es para el supuesto caso de un día bueno en cuanto a lo que a la generación fotovoltaica se refiere. Sin embargo, existen días en los que la producción fotovoltaica es menor. En la Figura 5-16, se muestra el consumo frente a la generación fotovoltaica en un día en el que la radiación solar no fue tan elevada.

Generación frente a consumo eléctrico

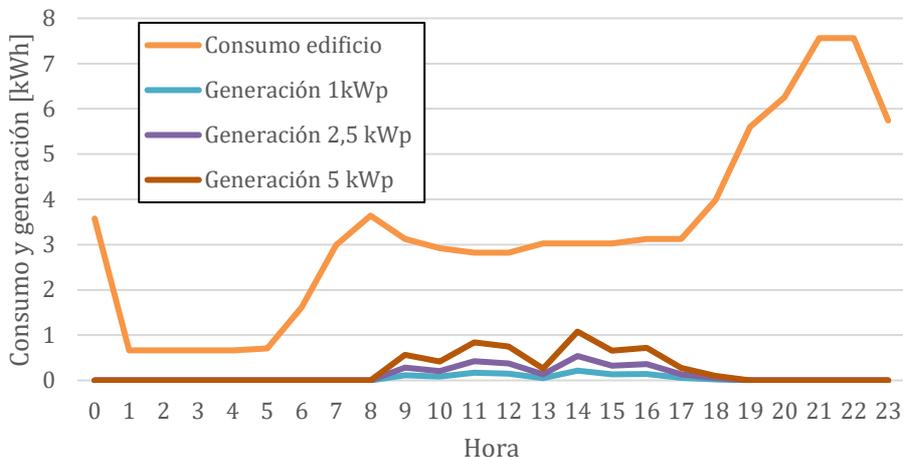


Figura 5-16: Generación frente a consumo eléctrico para un día con poca radiación.

Como era de esperar, los días en los que hay menos radiación, se necesitan potencias más elevadas para poder casar la curva de generación con la de la demanda. Así como en la curva que se mostraba en la Figura 5-15, la curva correspondiente a una potencia pico instalada de 2,5 kW era adecuada (ya que seguía a la curva de consumo), en la Figura 5-16, la energía generada por la misma potencia es residual y no tiene apenas impacto.

Las anteriores gráficas se han realizado considerando el consumo de un edificio promedio. Este edificio promedio contaría con un total de 8 viviendas, por lo que se puede aproximar el consumo de una vivienda como el consumo de un edificio dividido entre 8. En la Figura 5-17, se muestra el consumo de una vivienda enfrentado con la generación para diferentes potencias.

Consumo y generación para una vivienda

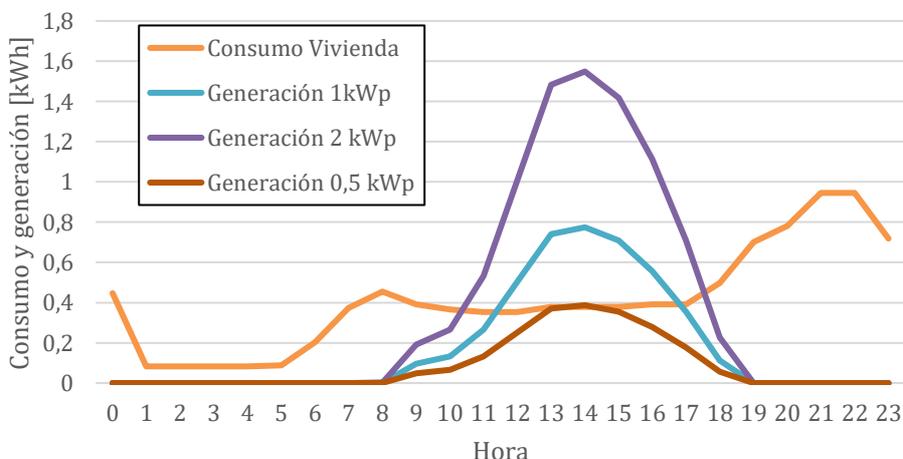


Figura 5-17: Generación frente a consumo de una vivienda.

Con esta gráfica se puede ver cómo, para un propietario, incluso una potencia instalada mayor de 0,5 kW le genera excedentes. Se puede observar cómo una instalación de 2 kW de potencia instalados produciría demasiados excedentes y estaría sobredimensionada para los días despejados en los que hay una cantidad considerable de radiación.

Como hay días en los que hay menos radiación, la Figura 5-18 muestra la diferencia entre la generación y el consumo en un día nublado.

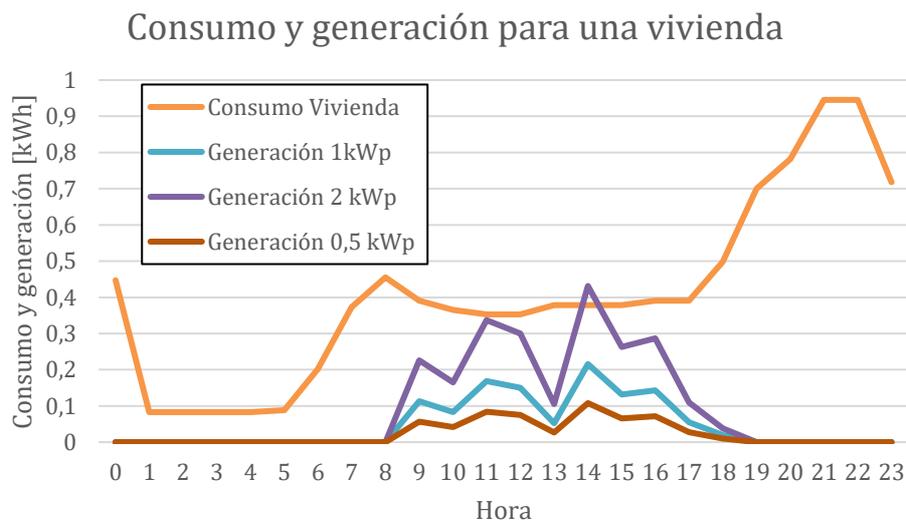


Figura 5-18: Generación frente a consumo de una vivienda un día de poca generación.

Para un día en el que hay menos generación, la potencia pico más adecuada es de 2 kW, siendo ésta excesivamente alta los días en los que hay generación. Tal y como se ve en la Figura 5-18, una instalación de 0,5 kW sería demasiado pequeña como para poder apreciar un ahorro en la factura de la luz.

Hay que calibrar la potencia para que, por una parte, no se den excedentes en los días en los que hay más radiación y no es necesario contar con una potencia elevada y, por otra parte, la instalación siga teniendo algo de impacto en suponiendo un ahorro en la factura en los días que n hay mucha radiación.

Hasta ahora se ha visto el consumo y la generación para un edificio o una vivienda. Sin embargo, la comunidad es una urbanización compuesta por distintos edificios. En la Figura 5-19, se muestra el consumo eléctrico total de la comunidad comparado con la generación que se daría con una instalación de 100 kW de potencia pico instalados.

Generación frente a consumo eléctrico

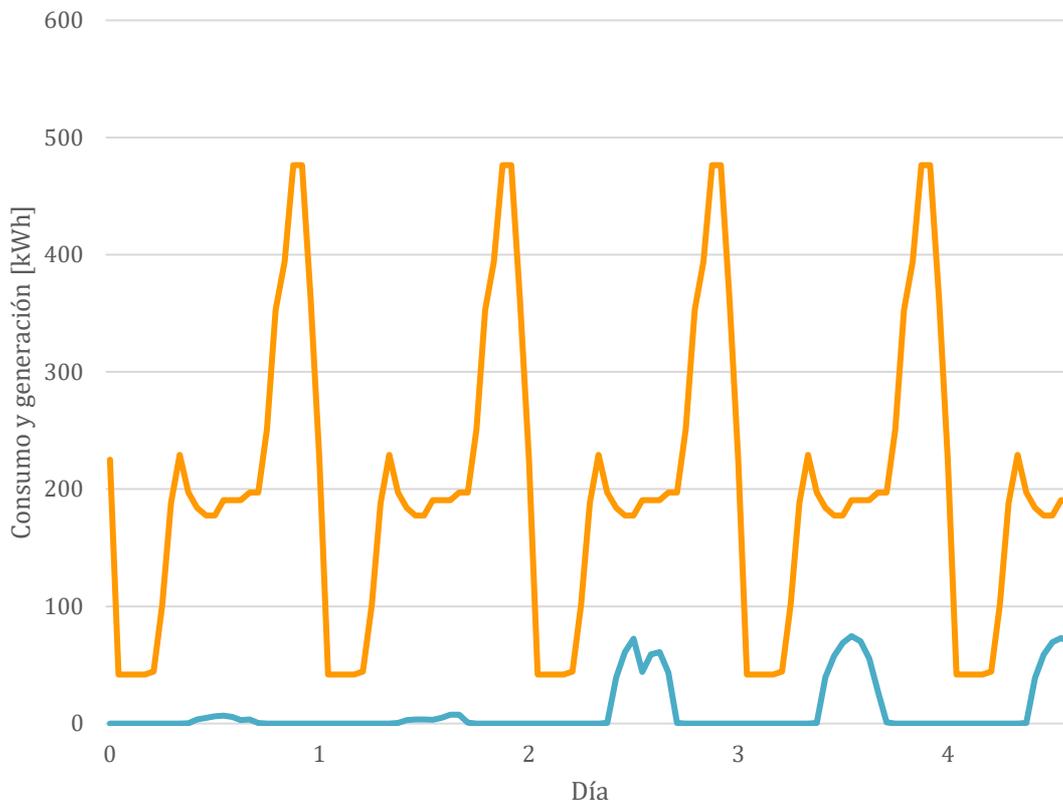


Figura 5-19: Generación frente a consumo de toda la comunidad.

En la gráfica de la Figura 5-19, la línea naranja representa el consumo eléctrico de la comunidad energética y la azul, el consumo, ambas en kWh.

Dada la baja producción en comparación con la demanda eléctrica, se va a optar por no incluir los consumos de calefacción y de ACS en este análisis económico. No es de extrañar que se haya decidido limitar el número de socios que pueden adscribirse al proyecto porque la generación de la planta que se quiere instalar es baja comparada con el consumo de la comunidad. Cabe destacar que en los días en los que la radiación es baja, la instalación no tendría apenas impacto.

6 ANÁLISIS ECONÓMICO

6.1 Desarrollo Teórico

6.1.1 Desarrollo y aplicación del modelo de negocio

En este apartado se va a analizar el funcionamiento de la comunidad energética desde un punto de vista multi-agente para poder determinar los flujos de caja de los actores implicados.

6.1.1.1 Descripción de la idea de negocio

En el caso de las comunidades energéticas basadas en el autoconsumo fotovoltaico, la idea es utilizar la energía proveniente de la radiación solar para consumirla dentro de la comunidad. Todo esto, con objeto de ahorrar en la factura de la luz, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y dotar de nuevos recursos a los consumidores frente a las comercializadoras eléctricas.

En una comunidad energética, hay varios agentes implicados:

- **Socio:** Este actor cuenta con una participación de la instalación. De esta forma, le pertenece una parte de la energía que se genere por la planta y que irá en función de la inversión que haya realizado (siendo mayor cantidad de energía, cuanto mayor haya sido la inversión). Además del primer desembolso, también deberá pagar una pequeña cantidad, comparada con los beneficios, de operación y mantenimiento debido a la gestión de la comunidad. Esa energía que le pertenece puede ir destinada al autoabastecimiento y a la venta a un vecino o a la red.
- **Vecino:** Este agente no posee una participación de la instalación. Por ese motivo, el vecino no hace ninguna inversión ni paga costes de operación y mantenimiento. Su función es aprovechar la diferencia de precio entre la compra de energía y la venta para lograr un ahorro en su propia factura, permitiendo además aportar un beneficio económico al socio. Es decir, compra los excedentes de energía de un socio a un precio mayor que el ofertado en el mercado, pero menor que el de la comercializadora eléctrica. De esta forma, ambos actores se ven beneficiados de esta colaboración.
- **Cooperativa:** Como ya se ha explicado en el apartado 3, la cooperativa es una asociación sin ánimo de lucro, por lo que simplemente cumple su función de gestionar la comunidad energética. Para ello, se encarga de administrar el buen funcionamiento de la instalación con los costes de operación y mantenimiento.
- **Comercializadora:** Este agente se encarga de vender energía a los consumidores y de ofertar un precio por los excedentes de energía provenientes de la planta. Dependiendo de la comercializadora, este precio puede ser distinto, pero suele estar en torno al precio del mercado eléctrico (que está alrededor de un tercio de lo que paga el consumidor final).

Por lo tanto, como incentivo para invertir en la comunidad energética, el socio obtiene ahorro en la factura eléctrica mediante el autoconsumo y la venta de energía y el vecino, también evita costes sin riesgo alguno porque no invierte nada. La comercializadora obtendrá beneficio de la venta de energía a los consumidores y la cooperativa, como no tiene fines lucrativos, no debe obtener beneficio económico, únicamente cubrir los gastos de gestión.

6.1.1.2 Creación del modelo de valor

La comunidad energética, integrada dentro del sistema eléctrico, es un modelo que se ve afectado por muchos factores, tal y como se muestra en la Figura 6-1.

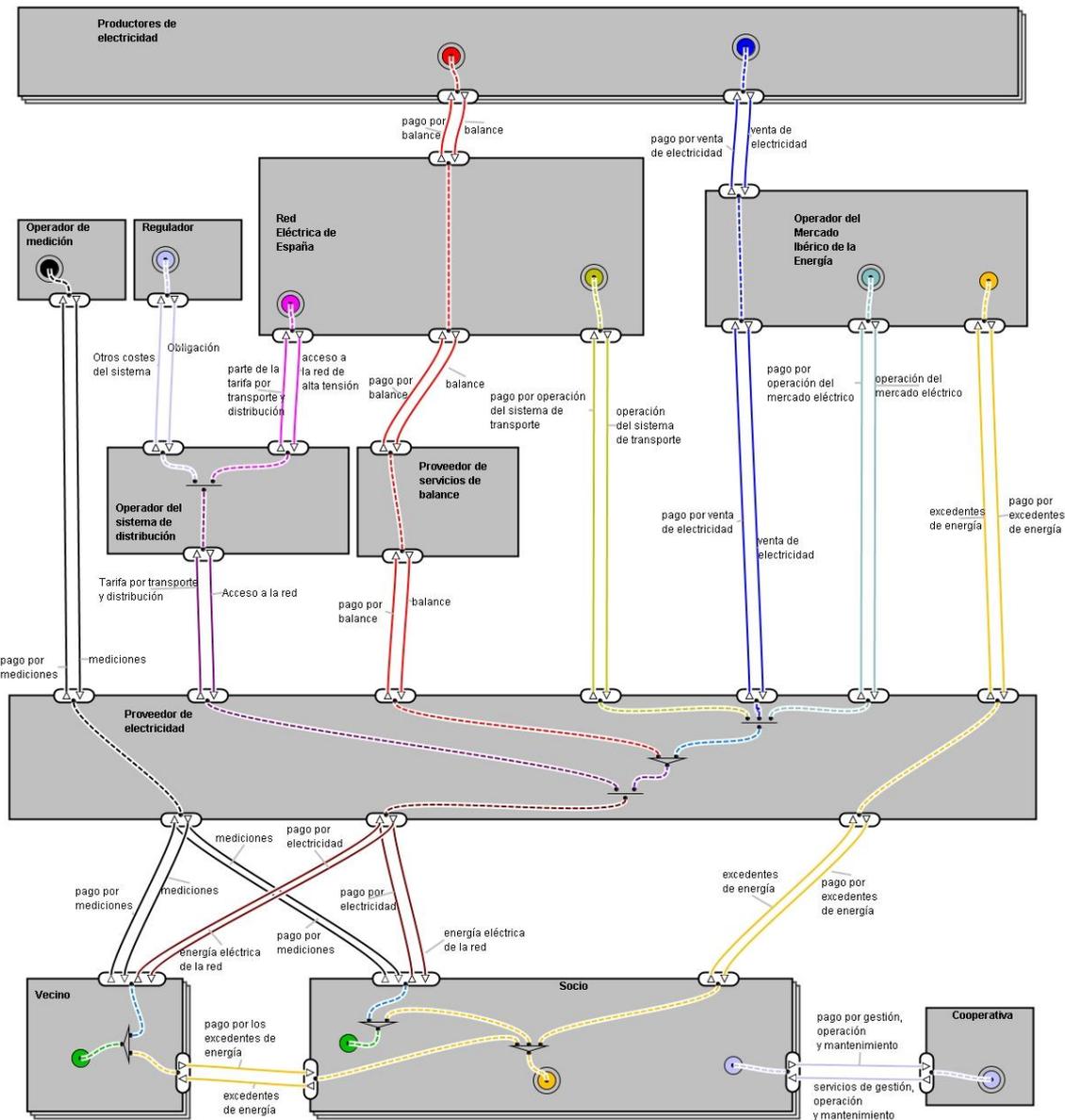


Figura 6-1: Modelo de valor del sistema eléctrico español con una comunidad energética.

Como no se puede apreciar del todo lo que afecta a la comunidad energética, sería interesante representar únicamente la parte en la que está implicada. Por lo tanto, para simplificar el análisis, se va a representar el modelo de valor a partir del proveedor de energía. En la Figura 6-2, se muestra el modelo de valor de la comunidad energética.

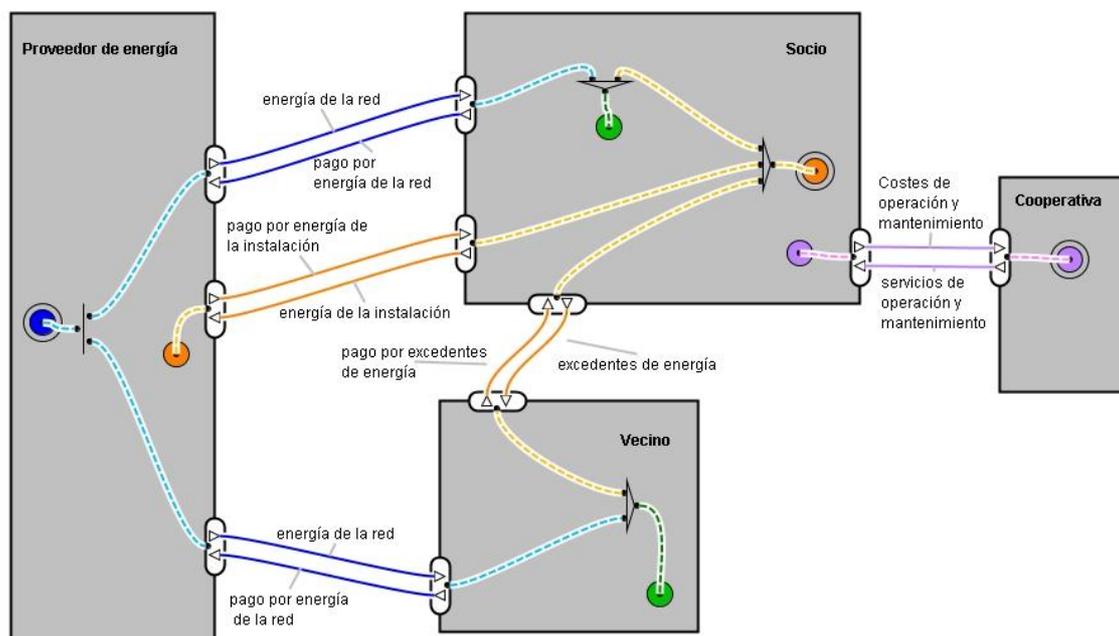


Figura 6-2: Modelo de valor de una comunidad energética.

Este modelo únicamente toma en consideración a un socio y a un vecino. Se podrían incluir más y el esquema no cambiaría: simplemente, se podría cambiar los actores del socio y del vecino por segmentos del mercado. Para hacer los flujos de caja, se va a tomar un único actor de cada segmento, por lo que, en el esquema de la Figura 6-2, estos agentes son individuales.

En este modelo, el color azul representa la energía proveniente de la red eléctrica (además de las mediciones y demás servicios que se pagan en la factura), el naranja, la energía proveniente de la planta fotovoltaica, el verde hace referencia al consumo eléctrico, y el morado alude a los servicios de gestión, operación y mantenimiento. Hay 5 intercambios de valor en el modelo que deben ser calculados.

El socio tiene la necesidad de consumir energía eléctrica. Esta demanda puede ser cubierta por la energía proveniente de la red, en cuyo caso tendría que pagar el precio que la comercializadora le pide por kWh consumido. Además, debido a la instalación de autoconsumo fotovoltaico, la demanda también puede ser satisfecha con la energía producida por la planta fotovoltaica. La instalación fotovoltaica requiere de mantenimiento, servicio que será ofrecido por la cooperativa que se encargará de gestionar la instalación para que funcione correctamente. Por lo tanto, el socio deberá pagar a la cooperativa por los servicios de gestión, operación y mantenimiento.

El vecino, por su parte, tiene que cubrir su consumo eléctrico. La energía eléctrica que necesita puede provenir de la red eléctrica, en cuyo caso el vecino tiene que pagarla al precio que ofrece la comercializadora, o de la energía que le pertenece al socio y que éste no consume debido a que ya está cubriendo toda su demanda. En este caso, el precio al que paga la energía lo tiene que pactar con el socio, por lo que tienen que llegar a un acuerdo que les beneficie a ambos.

Los excedentes que no son consumidos por el socio ni por el vecino son vendidos al operador a precio de mercado por medio de la comercializadora. Estos excedentes se destinarán a otro consumidor de la red, que los comprará al precio que determine su respectiva comercializadora.

6.1.2 Desarrollo de las herramientas para el cálculo

Para poder hacer el análisis económico, se va a hacer mediante una hoja de cálculo que se va a automatizar, de tal forma que se permita el análisis de diferentes casos para poder estudiar alternativas y poder aplicar la misma plantilla a otros casos de comunidades energéticas. Los cálculos se hacen para cada hora durante un año, consiguiendo que la simulación sea más fiable.

La hoja de cálculo requiere de ciertos datos de entrada. Son necesarios los datos de consumo en kWh de la persona que cuenta con una participación de la planta fotovoltaica (socio) y los del vecino que no ha invertido en la planta, pero que pacta con el socio para consumir los excedentes. También se requiere del precio que pagan por la energía ambos actores en €/kWh (después de impuestos), además del precio del mercado eléctrico en €/kWh, que puede ser obtenido en la web del Sistema de Información del Operador del Sistema (e-sios) [42].

Es imprescindible meter la generación horaria de la instalación fotovoltaica. En caso de que no se disponga de esta información, se puede obtener tal y como se ha hecho en el apartado 5.4. El propio Excel permite cambiar la potencia si ésta está normalizada a 1 kW de potencia pico. Además, como la instalación está repartida entre varios socios, también se permite variar la proporción de la energía que le pertenece al socio del que se está haciendo el análisis.

La misma hoja de cálculo hace una estimación del precio de compraventa de la energía entre el socio y el vecino como la media entre el precio que pone la distribuidora al vecino y el precio del mercado (al que se parecería el precio de venta del socio a la red). Esta fórmula puede ser cambiada en caso de que ambos agentes lleguen a un acuerdo diferente pactando otro precio.

Para poder definir el coste de la inversión, se ha definido un coste de instalación en función de la potencia a instalar de 1.000 € por kW de potencia pico. Este valor se ha tomado en función de las ofertas de diferentes instaladoras (el valor suele estar entre 800 y 1.200 €/kW) [44], aunque puede ser diferente en función de la situación. En caso de que se cuente con esta información a la hora de analizar un proyecto nuevo, se podría variar este valor para que el análisis sea más certero. Cuando se tiene que valorar una inversión, se debe conocer la tasa de interés, que en España es de 4 % (en junio de 2023) [45].

Una vez determinados todos estos valores, ya se puede comenzar a hacer cálculos para determinar qué es lo que ocurre con la energía que se genera en la instalación que le pertenece al socio. En primer lugar, se encasilla la energía de la siguiente forma:

- Energía autoconsumida: Consiste en la electricidad que genera el socio y es consumida por él mismo. Se calcula diferenciando entre los momentos en los que la producción es mayor al consumo (en los que el autoconsumo equivale al consumo total del socio), y en los momentos en los que la generación es menor que el consumo (en los que la energía autoconsumida es igual a la generación).

- Energía consumida de la red: Ésta se trata de la energía que el socio compra a la comercializadora. Cuando la generación es superior al consumo, tiene valor nulo. Por otra parte, cuando la producción es menor al consumo, este valor es igual a la diferencia entre la energía consumida por el socio menos la generada por la instalación.
- Excedentes de energía: Hace referencia a la energía que es generada por el socio, pero que no es consumida por este agente debido a que ya está cubriendo toda su demanda con energía proveniente de la instalación fotovoltaica. Por lo tanto, cuando el consumo es superior a la producción, no habrá excedentes, pero si la generación es superior a la demanda, los excedentes serán la diferencia entre la generación y el consumo.
- Excedentes para el vecino: Es la energía proveniente de los excedentes que consume el vecino. Cuando la energía de los excedentes supera la demanda del vecino, este valor se toma como el consumo del vecino. Cuando el consumo del vecino es superior a los excedentes, el valor es el de los mismos excedentes.
- Energía de la red para el vecino: Hace referencia a la parte de la energía que consume el vecino que no proviene de la instalación del socio. Es decir, la energía que el vecino compra a la red para satisfacer su demanda.
- Excedentes restantes: La energía sobrante generada por el socio después de cubrir la demanda del socio y del vecino, es decir, la energía proveniente de la instalación que pertenece al socio que no se consume por ninguno de los agentes, porque ambos ya están abastecidos.

Conociendo la utilidad de la energía, ya se le puede asociar un precio para poder determinar los flujos de caja de los agentes involucrados en la comunidad. Para ello, aquí también se diferencia entre algunos conceptos:

- Ahorro del socio por el autoconsumo: Sería el dinero que se ahorra el socio por consumir la energía generada por la instalación en lugar de comprarla de la red. Se calcula como la energía autoconsumida por el precio al que le paga la energía a la comercializadora. Es decir, es el dinero que el socio se evita de pagar a la comercializadora por tener una participación en la instalación fotovoltaica.
- Venta de energía del socio: Es el dinero que recibe el socio por vender los excedentes al vecino y (en caso de que sobren) a la red. Se calcula como la suma del producto del precio pactado entre el vecino y el socio por la energía de los excedentes destinada al vecino, más los excedentes restantes multiplicados por el precio de venta a la comercializadora.
- Ganancias del socio: El dinero total que gana el socio entre lo que se ahorra y lo que vende. Se calcula como la suma del ahorro por autoconsumo y la venta de energía.
- Venta de energía del socio sin vecino: Ésta sirve para poder comparar los beneficios con y sin cooperación. Para este caso, todos los excedentes serían vendidos a la comercializadora, por lo que el cálculo sería como los excedentes totales por el precio de venta a la comercializadora.
- Ganancias del socio sin vecino: Es el dinero que ganaría el socio debido al ahorro por autoconsumo y a la venta de energía si no colaborase con el vecino.
- Pago de electricidad por el vecino: Es el dinero que pagaría por la electricidad el vecino si colaborase con el socio. Se calcula como la suma del producto del precio de la electricidad por la energía que consume el vecino de la red, más la energía que

consume proveniente del socio por el precio al que han pactado la compraventa de ésta.

- Ahorro del vecino: Es el dinero que se ahorraría el vecino si cooperara con el socio. Se calcula como la diferencia entre lo que habría pagado antes (el producto de su consumo por el precio de la comercializadora) menos lo que paga con la colaboración, que es lo que se ha calculado en el anterior concepto.

El ahorro de un periodo para el socio se calcula como la suma de todas las filas de la columna de ganancias del socio. Estos beneficios se han supuesto constantes para todos los periodos. No se tiene en cuenta el aumento del precio de la electricidad ni la degradación de las placas solares con el paso del tiempo. Para calcular el ahorro del vecino, se hace la suma de la columna en la que se ha calculado el ahorro horario.

A la hora del cálculo de los costes de gestión operación y mantenimiento, cabe destacar que el valor suele oscilar entre el 1 % y el 5 % del coste de la inversión inicial [46] [47]. Se va a tomar un 4 % para cada periodo, ya que también hay que tener en cuenta los gastos de gestión. Además, en el año 12, estos costes se ven incrementados debido a la necesidad de cambiar el inversor. El coste extra que se añade en este periodo equivale al 10 % de la inversión inicial. Conociendo estos datos, se puede determinar el flujo de caja del socio y del vecino.

6.2 Análisis de resultados

Los cálculos se han realizado suponiendo una instalación de 100 kW, en la que participarán 100 socios (por lo que a cada uno le corresponderá un 1 % de la instalación).

Los movimientos de valor en un periodo (un año) que se observan en la Figura 6-2, quedan de esta forma: el socio le pagaría a la comercializadora 584,70 € al año por la electricidad que consume, aunque se le descontarían 2,17 € debido a la venta de los excedentes a la red eléctrica. El vecino debería abonar 703,43 € al proveedor de energía y 53,57 € al socio por la compra de energía a estos dos agentes. Por último, el socio debe abonar 40 € en materia de gestión, operación y mantenimiento de la instalación fotovoltaica a la cooperativa.

Si se tiene en cuenta la parte de energía que no tiene que pagar el socio y lo que obtiene este agente por la venta de excedentes a la distribuidora y al vecino, éste obtiene un ahorro total de 253,59 € por periodo. Sin embargo, hay que restarle los gastos de gestión, operación y mantenimiento, por lo que el flujo de caja por periodo para el socio es de 213,59 €. Además, en el periodo 12, hay que cambiar el inversor, por lo que se ha supuesto que se debe pagar, aparte de los costes de operación y mantenimiento, un 10 % de la inversión inicial en ese año. Esto supone que se debe gastar 140 € en este periodo dejando un flujo de caja de 113,59 €.

Inicialmente, el socio debe hacer una inversión de 1.000 €. Suponiendo que la vida útil de la instalación es de 25 años, los flujos de caja para el socio por cada año son los que se muestran en la Figura 6-3.



Figura 6-3: Flujos de caja del socio para cada periodo.

Con estos valores, el tiempo de amortización simple sería de 4 años, 8 meses y 5 días. Es decir, el socio habría amortizado la inversión, antes del quinto año. En esta gráfica, no se tiene en cuenta el valor descontado del dinero. Las ganancias después de haber restado los costes totales a lo largo de la vida útil de la instalación ascienden a 4.239,68 €.

El vecino, por su parte, al colaborar con el socio, obtiene un ahorro anual de 23,55 €. Como éste no debe hacer ninguna inversión, los flujos de caja para cada periodo son los que se observan en la Figura 6-4.

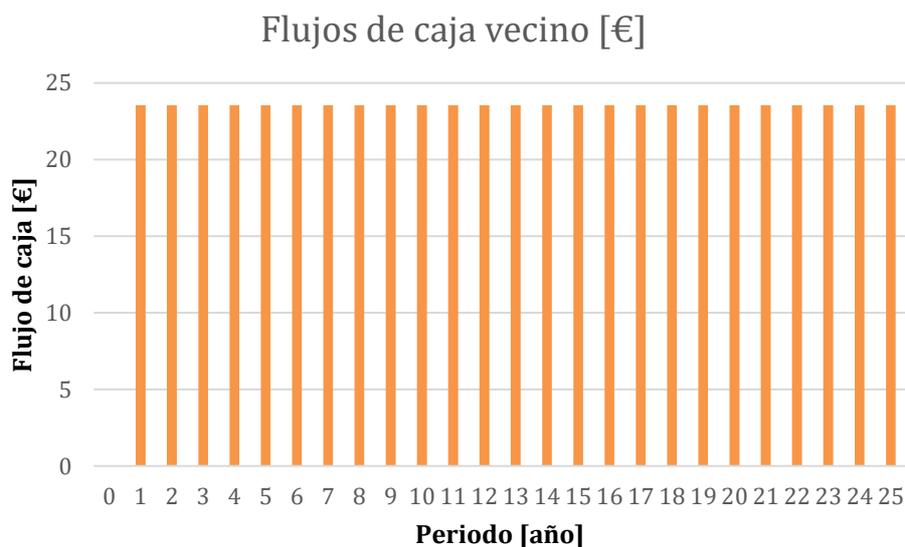


Figura 6-4: Flujos de caja del vecino para cada periodo.

Debido a que no se hace inversión alguna, el vecino no debe amortizar nada. Éste solo se beneficia de pagar más barato por los excedentes del socio. También cabe destacar que el

beneficio que obtiene el vecino es bastante menor al que obtiene el socio. Las ganancias totales de este agente durante la duración total de la instalación son de 588,67 €.

Para analizar la viabilidad de la inversión del socio, se van a calcular varios de los indicadores económicos explicados en el apartado 4.1 más atrás. El VAN para el socio sería de 2.274,21 €. Al ser un valor positivo, se puede afirmar que la inversión es rentable. A continuación, en la Figura 6-5, se muestra cómo se desarrolla el VAN de la inversión del socio con el paso de los periodos.

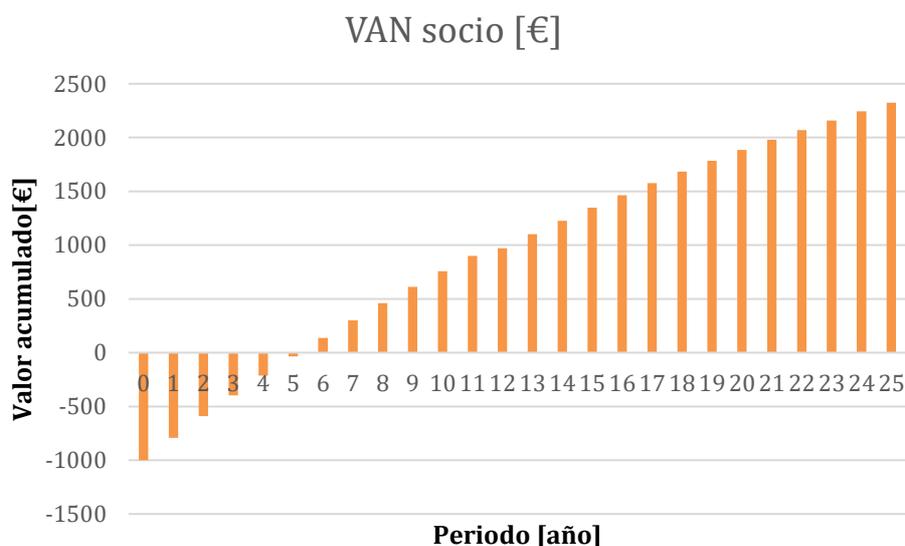


Figura 6-5: VAN del socio para los diferentes periodos.

Tal y como se puede observar, el tiempo de amortización descontado rondaría los 6 periodos, lo que quiere decir que, a partir del sexto año, ya se estaría obteniendo beneficio debido a el ahorro que supone el autoconsumo (teniendo en cuenta el valor descontado del dinero).

La tasa de interés que aporta el proyecto, definida por medio de la TIR, es de 20,96 %. Este valor es bastante elevado, lo que indica es que la inversión es muy rentable por lo que se debería tener muy en cuenta.

El coste nivelado de la energía sería de 0,088 €/kWh. Este valor es superior al de otras plantas fotovoltaicas situadas en mejores localizaciones, mejor optimizadas y de mayor tamaño, en las que puede llegar a ser menor de la mitad del que está siendo analizado [48]. Sin embargo, teniendo en cuenta que el precio de compra de la energía para el vecino es de 0,23 €/kWh, autoconsumir esta energía supone un ahorro de 0,142 € por kWh generado y consumido por el socio. Además, el precio pactado con el vecino nunca va a ser inferior a 0,115 €/kWh (debido a que se hace la media entre el precio del mercado y el de compra del vecino que como muy bajo sería 0,23/2), por lo que también siempre se obtienen ganancias de los excedentes que se venden si hay colaboración.

El vecino no tiene que hacer inversión alguna, por lo que la colaboración es muy interesante para este agente. Solamente le supondría un ahorro de casi 600 € en 25 años. Sin embargo, el

socio podría llegar a plantearse no colaborar con el vecino y vender todos los excedentes a la comercializadora. Por ello, se han calculado diferentes indicadores económicos para poder ver los beneficios que obtiene el socio de la cooperación con el vecino.

El VAN de la inversión sin existir la colaboración con el vecino se ve reducido a 1.906,36 €. Este valor significa que, con la colaboración, el socio estaría obteniendo un beneficio en valor actualizado de 367,85 € superior. El flujo total de caja sin cooperación sería de 3.651,00 € que es cerca de 600 € menos que con la colaboración. La TIR sin vecino toma un valor de 18,49%. Sigue siendo un valor elevado, pero es casi 2 puntos y medio menor que si hay colaboración.

En la Figura 6-6, se muestra el VAN que obtendría el socio con la colaboración con el vecino frente al que obtendría sin cooperación.

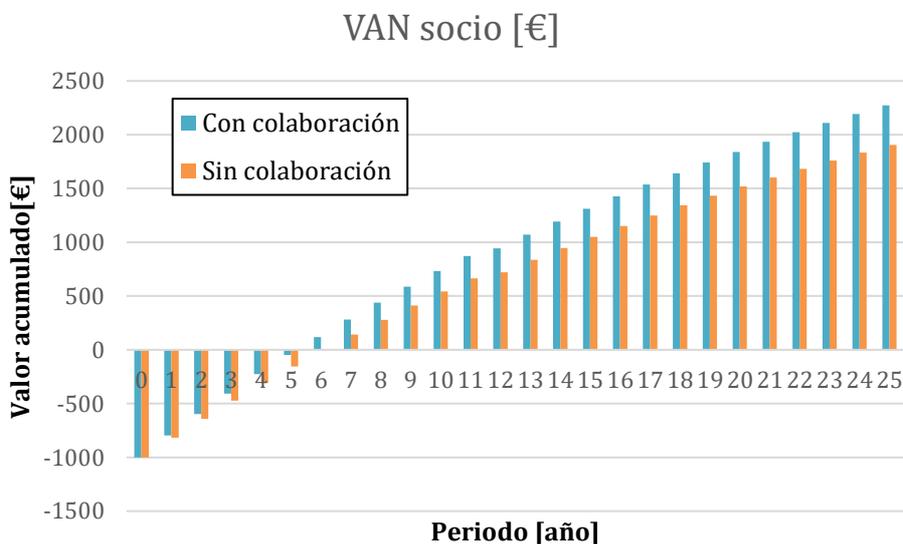


Figura 6-6: Comparación del VAN para el socio.

Por lo tanto, la cooperación también es beneficiosa para el socio en la misma medida que para el vecino, puesto que la forma en la que se ha calculado el precio pactado entre el socio y el vecino permite que ambos obtengan el mismo beneficio económico de la colaboración.

Para poder comparar la inversión con y sin cooperación, en la Tabla 6-1, se muestran diferentes indicadores económicos para el socio y el vecino.

	Con colaboración		Sin colaboración	
	Socio	Vecino	Socio	Vecino
Flujo de caja total	4.239,68 €	588,67 €	3.651,00 €	0 €
VAN	2.274,21 €	-	1.906,36 €	-
TIR	20,96 %	-	18,49 %	-
Payback simple	4,68 años	-	5,26 años	-

Tabla 6-1: Indicadores económicos con y sin colaboración entre el socio y el vecino.

Como se ha estado viendo, la colaboración beneficia a ambos actores, aumentando los beneficios y reduciendo los riesgos de la inversión.

6.3 Análisis de alternativas

A la hora de realizar la inversión, los socios pueden decidir si contar con una participación mayor (en cuyo caso el dinero a invertir también será superior) o menor (siendo inferior la energía obtenida de la instalación). Hasta este punto, se ha estado analizando el caso para el socio que posee un 1 % de la instalación total.

Para poder comparar, va a ser necesario el cálculo de diferentes indicadores económicos para distintas alternativas: más inversión, implicando más energía para el socio, o menos energía como consecuencia de una menor inversión en el proyecto por parte de socio. Sin embargo, a pesar de que la relación entre la energía generada y el porcentaje de participación en el proyecto tienen una relación lineal, los beneficios obtenidos y los tiempos de amortización no son tan sencillos de calcular. Por lo tanto, para poder trabajar con tantos datos, se va a recurrir a la herramienta Matlab que permite hacer cálculos matriciales de forma iterativa.

Para poder evaluar qué inversión será económicamente más rentable, en la Figura 6-7, se muestra el VAN para diferentes porcentajes de participación del socio en la instalación.

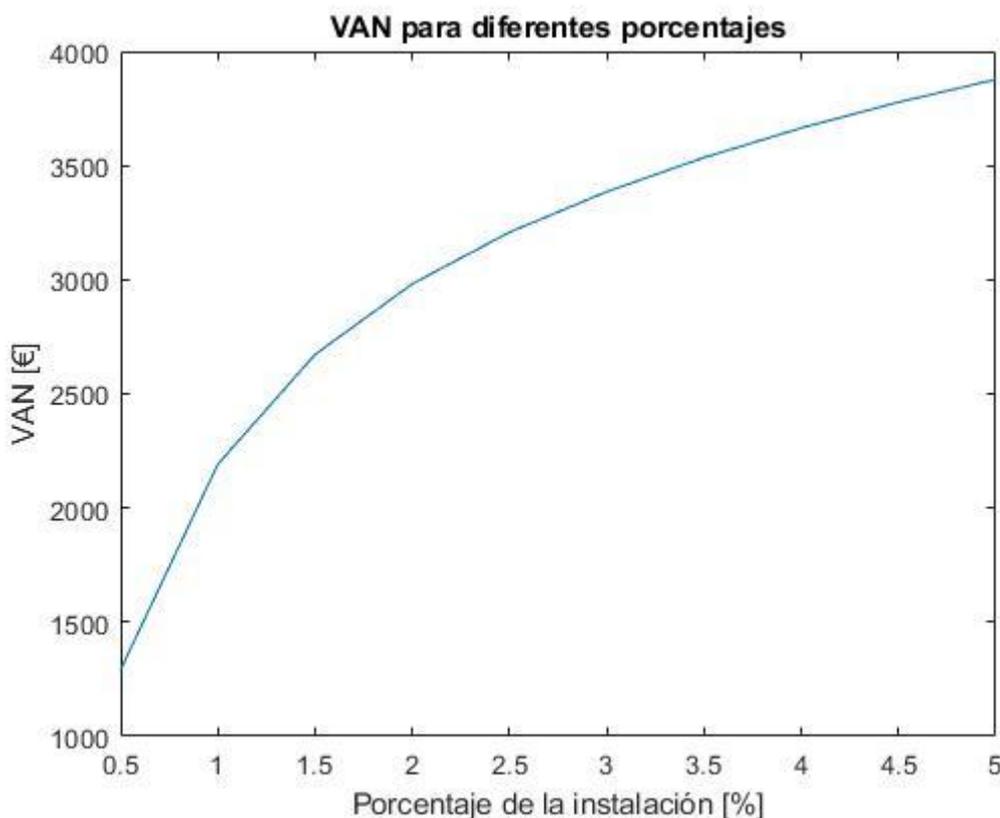


Figura 6-7: VAN para el socio en función del porcentaje de participación.

Como era de esperar, para porcentajes bajos, a mayor inversión también son mayores los beneficios. Tal y como se puede ver, la curva no tiene una relación lineal, siendo la pendiente más inclinada en porcentajes bajos y suavizándose a medida que aumenta la parte que le pertenece a un socio.

Se puede apreciar cómo el valor para un 1 % de la instalación está entre 2.000 € y 2.500 €, lo que concuerda con los datos calculados mediante la hoja de cálculo. Para un valor de 0,5 % el VAN no llegaría a alcanzar los 1.500 €, aunque se quedaría cerca. Si se optase por una participación total del 5 %, el VAN estaría cerca de 4.000 €, aunque el riesgo sería mayor, dado que la inversión también aumentaría.

En la Figura 6-8, se muestra el tiempo de amortización simple para diferentes porcentajes de participación en el proyecto.

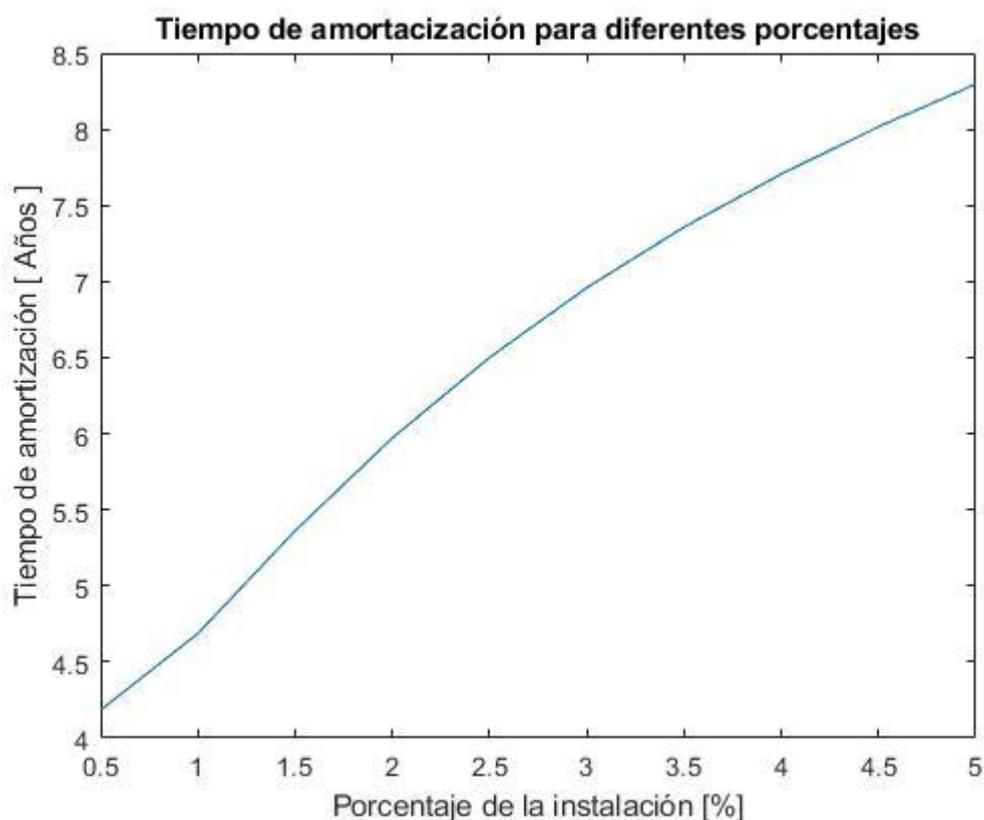


Figura 6-8: Tiempo de amortización simple para diferentes porcentajes.

El caso del tiempo de amortización es similar al del VAN ya que al aumentar la cantidad de la instalación total que pertenece al socio, también aumenta el tiempo que tarda en recuperar el dinero invertido. El Payback simple es algo superior a 4 años y medio lo que concuerda con los datos calculados en la hoja de cálculo. Mientras que para una inversión que implique la propiedad del 0,5% de la instalación el tiempo de amortización es de poco más de 4 años, para una que suponga el 5% el Payback se sitúa por encima de los 8 años. Esto es algo que debe tenerse en cuenta a la hora del riesgo que se quiere correr.

El socio ha de encontrar un equilibrio entre los beneficios que quiera obtener y el riesgo que quiera correr, además de que debe tener el poder adquisitivo suficiente para poder invertir. La opción de contar con un 1% es una opción que no está mal en cuanto al beneficio económico que se obtiene y, además, el riesgo asociado al desembolso que supone esta alternativa no es elevado.

7 CONCLUSIONES

Tras analizar la situación de las comunidades energéticas, el consumo que podría tener una y la generación que se podría llegar a obtener y analizar económicamente desde un punto de vista multi-agente, se ha llegado a las siguientes conclusiones.

Para poder llevar a cabo la transición energética, es necesario fomentar proyectos en los que las energías renovables desempeñen una función determinante. Además, para poder cumplir los objetivos marcados por la Unión Europea a fin de garantizar un futuro justo y sostenible, la ciudadanía debe estar implicada en este tipo de proyectos. No obstante, la figura de las comunidades energéticas de energías renovables es clave a la hora de lograr estos objetivos.

Debido a la poca estabilidad de los precios de la energía, el autoconsumo supone una oportunidad para ahorrar en la factura de la luz y reducir riesgos derivados de las fluctuaciones de precios. Sin embargo, esto supone una inversión que no todo el mundo está dispuesto a realizar. Además, debido a que las ganancias se ven en forma de ahorro (menos gasto en el futuro), todavía existe parte de la población que no confía en el autoconsumo fotovoltaico.

Cuando la energía que se está consumiendo proviene de una instalación destinada al autoconsumo, se evita pagar una cantidad que es derivada a tasas y a diferentes servicios de la red. Por este motivo, las comunidades energéticas que aprovechan el autoconsumo colectivo cuentan con ventaja ante las posibles variaciones de precio en la factura.

Ha sido demostrado que, desde un punto de vista económico, la comunidad energética es rentable para sus socios, incluso cuando la localización no es la óptima (debido a que existen otros lugares con más irradiancia). También se ha podido demostrar que, si se colabora, se le puede sacar más partido a la instalación implicando menos riesgo en la inversión y más ganancias que sin cooperación.

También existe la posibilidad de que un socio tenga interés en contar con más participación de la planta fotovoltaica. A mayor inversión, es cierto que el ahorro será mayor, pero también aumenta el riesgo ya que el mercado puede variar, la instalación podría dejar de funcionar además de que la energía producida depende de las condiciones atmosféricas y podría darse el caso de que la generación sea menor de lo esperado. Son escenarios que pueden llegar a ocurrir, aunque son poco probables.

Una forma de aumentar el ahorro sería intentar casar la curva de demanda con la de generación. Una forma de hacerlo que implica una mayor inversión es mediante el uso de baterías, almacenando los excedentes para después consumirlos. Otra alternativa sería modificar los hábitos para adaptar el consumo a la generación, como por ejemplo utilizar electrodomésticos (como la lavadora) a las horas centrales del día en las que hay más radiación solar.

Para el caso estudiado, en el que no hay demasiados excedentes, la opción de las baterías no es viable desde un punto de vista económico ya que la inversión necesaria para instalarlas es mayor a los beneficios que estas puedan aportar. Además, teniendo en cuenta la colaboración



entre socio y vecino, los excedentes pasan a ser puntuales y prácticamente, despreciables, por lo que no merece la pena valorar la opción de colocar almacenamiento.

8 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Bernal O, López R, Montoro E, Avedillo P, Westby K, Ghidinelli M. "Objetivos y metas de desarrollo sostenible." Revista panamericana de salud pública Web site. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>. Updated 2020
- [2] Naciones Unidas. "Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos." "Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos." United Nations; 2017:32-33
- [3] Naciones Unidas. "Objetivo 11: Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles." "Objetivo 11: Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles." United Nations; 2018:24-25
- [4] "Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles." "Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles." United Nations; 2018:26-27
- [5] "Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos." "Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos." United Nations; 2017:36-37
- [6] European Commission. "Clean energy for all Europeans package." Disponible en: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans-package_en. Updated 2019
- [7] Comisión Europea. "Un Pacto Verde Europeo." Disponible en: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_es. Updated 2023
- [8] Consejo Europeo. "Objetivo 55." Disponible en: <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>. Updated 2023
- [9] Agencia Estatal. Boletín Oficial del Estado, (BOE). "Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética." Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2021-8447. Updated 2021
- [10] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. "Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030." Disponible en: https://www.miteco.gob.es/images/es/pnieccompleto_tcm30-508410.pdf. Updated 2020
- [11] Gobierno de España. "Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia." Disponible en: <https://planderecuperacion.gob.es/>. Updated 2023

[12] Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, (IDAE). "Primera convocatoria del programa de incentivos a proyectos piloto singulares de comunidades energéticas." Disponible en:

<https://planderecuperacion.gob.es/como-acceder-a-los-fondos/convocatorias/BDNS/605746/primera-convocatoria-del-programa-de-incentivos-a-proyectos-piloto-singulares-de-comunidades-energeticas-programa-ce-implementa-en-el-marco-del-plan-de-recuperacion-transformacion-y-resiliencia>. Updated 20212023

[13] Gobierno Vasco. "Proyecto de Ley de Transición energética y cambio climático."

Disponible en:

<https://www.euskadi.eus/gobierno-vasco/-/proyecto-ley/13-proyecto-de-ley-de-transicion-energetica-y-cambio-climatico/>. Updated 2023

[14] Departamento de Desarrollo Económico, Sostenibilidad y Medio Ambiente. "Plan de Transición Energética y Cambio Climático 2021 - 2024." Disponible en:

https://bideoak2.euskadi.eus/2021/10/26/news_72722/211025-Presentacion_Plan.pdf. Updated 2020

[15] Comisión Europea. "Causas del cambio climático." Disponible en:

https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_es#causas-del-aumento-de-las-emisiones2023 Updated 2023

[16] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, (IDAE). "Comunidades Energéticas." Disponible en:

<https://www.idae.es/ayudas-y-financiacion/comunidades-energeticas2023> Updated 2023

[17] Plena energía. "Comunidades energéticas locales: Qué son, ventajas y ejemplos en España." Disponible en:

<https://www.plena-energia.com/post/comunidades-energeticas-locales#:~:text=A%20diferencia%20del%20autoconsumo%20compartido,de%20energ%C3%ADa%20solar%20o%20e%C3%B3lica>. Updated 2022

[18] Agencia Estatal. Boletín Oficial del Estado, (BOE). "Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica." Disponible en:

https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2019-5089. Updated 2019

[19] Agencia Estatal. Boletín Oficial del Estado, (BOE). "Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores." Disponible en:

<https://www.boe.es/eli/es/rdl/2018/10/05/15>. Updated 2018

[20] Agencia Estatal. Boletín Oficial del Estado, (BOE). "Real Decreto-ley 29/2021, de 21 de diciembre, por el que se adoptan medidas urgentes en el ámbito energético para el fomento de la movilidad eléctrica, el autoconsumo y el despliegue de energías renovables." Disponible en:

https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2021-21096. Updated 2021

[21] Agencia Estatal. Boletín Oficial del Estado, (BOE). "*Real Decreto-ley 18/2022, de 18 de octubre, por el que se aprueban medidas de refuerzo de la protección de los consumidores de energía y de contribución a la reducción del consumo de gas natural.*" Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2022-17040. Updated 2022

[22] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. "*Consulta pública previa comunidades energéticas locales.*" Disponible en: <https://energia.gob.es/es-es/participacion/paginas/detalleparticipacionpublica.aspx?k=3582023>

[23] Diario Oficial de la Unión Europea. "*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.*" Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2019/158/L00125-00199.pdf>. Updated 2019

[24] Agencia Estatal. Boletín Oficial del Estado, (BOE). "*Real Decreto-ley 23/2020, de 23 de junio, por el que se aprueban medidas en materia de energía y en otros ámbitos para la reactivación económica.*" Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2020-6621>. Updated 2020

[25] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, (IDAE). "*Visor de Comunidades Energéticas.*" Disponible en: <https://informesweb.idae.es/visorccee/>. Updated 2023

[26] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, (IDAE). "*Proyectos seleccionados CE Implementa 2.*" Disponible en: https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/ayudas_y_financiacion/Comunidades_energeticas/6-Presentacion_CE_Implementa_2-Fichas.pdf

[27] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, (IDAE). "*Comunidades energéticas locales en acción: el caso de éxito de Crevillent.*" Disponible en: <https://laenergiadeluzia.es/comunidades-energeticas-locales-en-accion-el-caso-de-exito-de-crevillent/>. Updated 2020

[28] Generar electricidad. "*Ekiola promueve la construcción de una planta solar en Arrasate para el consumo de energía de cercanía.*" Disponible en: <https://www.smartgridsinfo.es/2021/10/19/ekiola-promueve-construccion-planta-solar-arrasate-consumo-energia-cercania>. Updated 2021

[29] Jalon. "*Life-Jalon, Soy de Calatayud.*" Disponible en: <https://jalon-ce.eu/es/soy-de-calatayud/>. Updated 2023

[30] Edinor. "*Cel Todanavarra.*" Disponible en: <https://www.celtodanavarra.es/>. Updated 2023

- [31] Ayuntamiento de El Rosario. "*Comunidad Energética Local El Rosario Solar.*" Disponible en:
<https://www.ayuntamientoelrosario.org/index.php/elrosariosolar/>. Updated 2023
- [32] Ekiola. "*Araba Ekiola Generic.*" Disponible en:
https://ekiola.eus/wp-content/uploads/2022/05/ARABA-EKIOLA-GENERIC_V2.pdf. Updated 2023
- [33] Andrey J, Barriga A. "*Análisis y desarrollo de vehículos y modelos de constitución y gobernanza de comunidades energéticas para promover para promover la energía limpia y democrática con la participación de la ciudadanía.*" *Ecodes*. 2022
- [34] Morales CM. "*Formulación y Evaluación de Proyectos.*" 2008
- [35] Riquelme M. "*Costo Anual Equivalente o Beneficio Anual Equivalente (CAUE o BAUE).*" Disponible en:
<https://www.webyempresas.com/costo-anual-equivalente-o-beneficio-anual-equivalente-caue-o-baue/2023> Updated 2023
- [36] Gordijn J, Wieringa R. "*E3 value user guide.*" "*E3 value user guide.*" ; 2021
- [37] Gordijn J, Akkermans H. *Electric power systems research*. 2007;77(9):1178-1188. doi:10.1016/j.epsr.2006.08.008
- [38] W. Short, D. J. Packey, and T. Holt, *A manual for the economic evaluation of energy efficiency and renewable energy technologies*. Golden, Colorado, U.S.: National Renewable Energy Laboratory, 2005.
- [39] Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. "*Propuesta del Real Decreto para regular las comunidades energéticas.*" Disponible en:
<https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/el-miteco-publica-la-propuesta-del-real-decreto-para-regular-las-comunidades-energ%C3%A9ticas/tcm:30-561485>. Updated 2023
- [40] Short W, Packey DJ, Holt Thomas. "*A Manual for the Economic Evaluation of Energy Efficiency and Renewable Energy Technologies.*" Disponible en:
<https://www.nrel.gov/docs/legosti/old/5173.pdf>. Updated 1995
- [41] Plena Energía. "*Impacto de la guerra en Ucrania en los precios de la energía: Perspectiva de futuro y soluciones.*" Disponible en:
<https://www.plena-energia.com/post/impacto-guerra-en-ucrania-energia>. Updated 2022
- [42] esios red eléctrica. "*Precio del Mercado .*" Disponible en:
https://www.esios.ree.es/es/analisis/600?compare_indicators=1001%2C705&start_date=22-05-2023T00%3A00&geoids=&vis=1&end_date=22-05-2023T23%3A55&compare_start_date=21-05-2023T00%3A00&groupby=hour



[43] European Commission. "Photovoltaic Geographical Information System." Disponible en: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/

[44] Caballero A. "Precio de la instalación de placas solares en 2023." Disponible en: <https://climate.selectra.com/es/placas-solares/instalacion/precio>. Updated 2023

[45] Trading Economics. "Tasa de interés en España." . Disponible en: <https://es.tradingeconomics.com/spain/interest-rate>. Updated 2023

[46] Roca JA. "Reparaciones y mantenimiento solar." Disponible en: <https://elperiodicodelaenergia.com/el-gasto-anual-en-reparaciones-y-mantenimiento-solar-crecera-a-8-400-millones-para-2025/>. Updated 2023

[47] Brücken Consult Bolivia SRL. "Estudio de determinación de costes de Operación, Mantenimiento y Administración fijos de Generación con base en Energías Alternativas." ; 2018

[48] Solar Times. "LCOE de la energía fotovoltaica." Disponible en: <https://solartimes.es/lcoe-de-la-energia-fotovoltaica/>. Updated 2022

[49] A. Damodaran, Investment Valuation: Tools and Techniques for Determining the Value of Any Asset, 2nd ed. New York, U.S.: John Wiley & Sons, 2002.

[50] Nara Solar, "La excepción ibérica, ¿qué es? ¿cuál es su objetivo?" Disponible en: <https://www.narasolar.com/la-excepcion-iberica-que-es-cual-es-su-objetivo/> Updated 2022