

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

TRABAJO FIN DE MÁSTER

ANÁLISIS DE AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO COMPARTIDO MEDIANTE COEFICIENTES DE REPARTO DINÁMICOS

Estudiante	<i>Iradier, Martínez de Albéniz, Egoitz</i>
Director	<i>Albizu, Florez, Igor</i>
Departamento	<i>Ingeniería Eléctrica</i>
Curso académico	<i>2020/2021</i>

Bilbao, 16, septiembre, 2021

RESUMEN

En este proyecto, se realiza el análisis del autoconsumo fotovoltaico compartido mediante coeficientes de reparto dinámicos que favorecen el autoconsumo y la autosuficiencia.

Para ello, lo primero se realiza una investigación alrededor de las comunidades energéticas, analizando su funcionamiento, normativa, restricciones y diferentes posibilidades que estas ofrecen.

Después, se desarrolla mediante la herramienta Matlab un conjunto de programas con el que estimar la energía que podría generar una comunidad energética partiendo de la radiación horizontal de un lugar concreto.

Finalmente, se plantean diferentes opciones de comunidades energéticas y se analiza cada una de las tipologías, con el objetivo de buscar la mejor configuración para cada una de ellas, teniendo en cuenta la potencia, inclinación, acimut, coeficiente de reparto y coeficiente de inversión.

LABURPENA

Proiektu honen bitartez, banaketa koefiziente dinamikoen bidezko autokontsumo fotovoltaiko partekatuaren analisia egiten da, zeinek autokontsumo eta autosufizientziari mesede egiten dioten.

Horretarako, lehenik eta behin, komunitate energetikoen inguruko ikerketa egiten da, hauen funtzionamendua, araudia, murrizketak eta eskaintzen dituzten aukera desberdinak aztertzeko.

Ondoren, Matlab erramintaren bidez, programa sorta bat garatzen da, toki konkretu bateko erradiazio horizontaletik abiatuta, komunitate energetiko batek sortu lezakeen energia kalkulatzeko.

Azkenik, komunitate energetiko ezberdinak proposatzen dira eta hauetako bakoitzak dituen berezitasunen azterketa egiten da, bakoitzarentzako potentzia, inklinazio, azimut, banaketa koefiziente eta inbertsio koefiziente egokiena bilatzeko helburuarekin.

ABSTRACT

Through this project, the analysis of shared photovoltaic self-consumption is carried out by means of dynamic distribution coefficients that favour self-consumption and self-sufficiency.

To do this, the first thing is carried out research around the energy communities, analysing their operation, regulations, restrictions and different possibilities that they offer.

Then, a set of programs is developed using the Matlab tool to estimate the energy that an energy community could generate from the horizontal radiation of a particular place.

Finally, different options of energy communities are considered and each type is analysed, with the aim of finding the best configuration for each one, taking into account the power, inclination, azimuth, distribution coefficient and investment coefficient.

PALABRAS CLAVE

Autoconsumo – Autosuficiencia – Real Decreto 244/2019 - Coeficiente de reparto estático – Coeficientes de reparto dinámicos – Compensación simplificada - Matlab

ÍNDICE

LISTA DE TABLAS.....	6
LISTA DE GRÁFICAS	7
LISTA DE FIGURAS	8
SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	9
MEMORIA.....	10
1 INTRODUCCIÓN	10
2 CONTEXTO	10
2.1 Energía eléctrica	10
2.2 Consumo de energía eléctrica.....	11
2.2.1 Consumo de energía eléctrica a nivel mundial.....	11
2.2.2 Consumo de energía eléctrica en España.....	11
2.3 Consumo de energía eléctrica por sector.....	12
2.3.1 Consumo eléctrico por sectores a nivel mundial	12
2.3.2 Consumo eléctrico por sectores en España	13
2.4 Producción de energía eléctrica	14
2.4.1 Modos de producción de energía eléctrica a nivel mundial.....	14
2.4.2 Modos de producción de energía eléctrica en España	14
2.5 Contaminación generada	15
2.6 Energías renovables.....	16
2.6.1 Tipos de energías renovables	16
2.6.2 Ventajas de las energías renovables	17
2.7 Energía fotovoltaica	17
3 OBJETIVOS Y ALCANCE DEL TRABAJO.....	20
4 BENEFICIOS QUE APORTA EL TRABAJO.....	20
5 ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE	21
5.1 Indicadores (autoconsumo/autosuficiencia).....	21
5.2 Legislación	24
5.3 Instalaciones de autoconsumo.....	26
5.3.1 Instalaciones de autoconsumo sin excedentes.....	26
5.3.2 Instalaciones de autoconsumo con excedentes.....	27
5.3.2.1 Instalaciones de autoconsumo con excedentes acogidas a compensación ...	27
5.3.2.2 Instalaciones de autoconsumo con excedentes no acogidas a compensación	28
5.3.3 Autoconsumo colectivo	29
5.3.4 Funcionamiento del autoconsumo con compensación simplificada	31
5.3.4.1 Acuerdo de compensación de excedentes	31
5.3.4.2 El mecanismo de compensación simplificada	32
5.4 Nueva tarifa 2.0TD, para contratos de hasta 15 kW.....	33
5.5 Comunidades energéticas	34
5.5.1 Barreras para la creación de comunidades energéticas	36
5.5.2 Modelos de propiedad de las comunidades energéticas.....	37
5.5.3 Contadores inteligentes	38
5.5.4 Blockchain	38
5.5.5 Retos de las comunidades energéticas	40
5.5.6 Ejemplos de comunidades energéticas	41
5.5.6.1 Lasierra, Álava	41
5.5.6.2 Esparza de Galar, Navarra.....	42
5.6 Coeficientes de reparto dinámicos.....	43
5.6.1 Autoconsumo colectivo francés	43

5.7 Posición del sol	45
METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO	49
6 ANTECEDENTES.....	49
7 DESCRIPCIÓN GENERAL	49
8 METODOLOGÍA DEL TRABAJO	49
9 FUNCIONAMIENTO DEL CONJUNTO DE PROGRAMAS	50
9.1 Programa base: irradiazioaV2.....	51
9.2 Programas principales: main	59
9.2.1 main_1b.....	60
9.2.2 main_2b.....	61
9.2.3 main_3b.....	62
9.2.4 main_4b.....	62
9.2.5 main_5b.....	63
9.2.6 main_6b.....	64
9.3 Subprogramas	65
9.3.1 adierazle_ekonomikoakV3.....	65
9.3.2 autoconsumo_COEF.....	65
9.3.3 coeficientes_de_reparto_dinamico.....	65
9.3.4 coeficientes_de_reparto_fijo_mensual	65
9.3.5 coeficientes_de_reparto_fijov2	65
9.3.6 ekonomikoa_partekatuaV3.....	66
9.3.7 kontsumoeguzkiordura	66
9.3.8 marraztu	66
9.3.9 reparto_inversion_energiaconsumv2	66
9.3.10 energía_optimoV2.....	66
9.3.11 irradiazioaren_simetria	66
10 DATOS OBTENIDOS.....	67
10.1 Comunidad energética 1	67
10.2 Comunidad energética 2	69
10.3 Comunidad energética 3	72
11 CASOS A ESTUDIAR	74
11.1 Comunidad energética 1	75
11.2 Comunidad energética 2	76
11.3 Comunidad energética 3	78
ASPECTOS ECONÓMICOS	81
12 COMUNIDADES ENERGÉTICAS	81
12.1 Comunidad energética 1	81
12.1.1 Payback	82
12.1.2 Payback con ayudas económicas	82
12.1.3 VAN	82
12.1.4 VAN con ayudas económicas.....	82
12.1.5 TIR	83
12.1.6 TIR con ayudas económicas.....	83
12.2 Comunidad energética 2	83
12.2.1 Payback	83
12.2.2 Payback con ayudas económicas	84
12.2.3 VAN	84
12.2.4 VAN con ayudas económicas.....	84
12.2.5 TIR	84
12.2.6 TIR con ayudas económicas.....	84
12.3 Comunidad energética 3	85
12.3.1 Payback	85
12.3.2 Payback con ayudas económicas	85
12.3.3 VAN	85
12.3.4 VAN con ayudas económicas.....	85

12.3.5 TIR	86
12.3.6 TIR con ayudas económicas.....	86
12.4 Resumen	86
CONCLUSIONES GENERALES	88
TRABAJOS FUTUROS.....	89
BIBLIOGRAFÍA	90
ANEXO 1	95
ANEXO 2.....	110

LISTA DE TABLAS

Tabla I Modelos de propiedad ^[31]	37
Tabla II Comparación normativa de autoconsumo en España y Francia ^[44]	45
Tabla III Programas principales	50
Tabla IV Programa base	50
Tabla V Subprogramas	50
Tabla VI Componentes de las comunidades energéticas	57
Tabla VII Características de los programas principales	59
Tabla VIII main_1b	60
Tabla IX main_2b	61
Tabla X main_3b	62
Tabla XI main_4b	63
Tabla XII main_5b	63
Tabla XIII main_6b	64
Tabla XIV Comunidad energética 1, datos generales	67
Tabla XV Comunidad energética 1, datos económicos	68
Tabla XVI Comunidad energética 1, datos en función de la inclinación	68
Tabla XVII Comunidad energética 1, datos en función del acimut	69
Tabla XVIII Comunidad energética 1, datos en función de la potencia	69
Tabla XIX Comunidad energética 2, datos generales	70
Tabla XX Comunidad energética 2, datos económicos	70
Tabla XXI Comunidad energética 2, datos en función de la inclinación	71
Tabla XXII Comunidad energética 2, datos en función del acimut	71
Tabla XXIII Comunidad energética 2, datos en función de la potencia	72
Tabla XXIV Comunidad energética 3, datos generales	72
Tabla XXV Comunidad energética 3, datos económicos	73
Tabla XXVI Comunidad energética 3, datos en función de la inclinación	73
Tabla XXVII Comunidad energética 3, datos en función del acimut	74
Tabla XXVIII Comunidad energética 3, datos en función de la potencia	74
Tabla XXIX Comunidad energética 1, detalles del caso a estudiar	75
Tabla XXX Comunidad energética 1, diferentes coeficientes de reparto	75
Tabla XXXI Comunidad energética 1, precio final de la energía	76
Tabla XXXII Comunidad energética 1, payback general e individual	76
Tabla XXXIII Comunidad energética 2, detalles del caso a estudiar	76
Tabla XXXIV Comunidad energética 2, diferentes coeficientes de reparto	77
Tabla XXXV Comunidad energética 2, precio final de la energía	77
Tabla XXXVI Comunidad energética 2, payback general e individual	78
Tabla XXXVII Comunidad energética 3, detalles del caso a estudiar	78
Tabla XXXVIII Comunidad energética 3, diferentes coeficientes de reparto	79
Tabla XXXIX Comunidad energética 3, precio final de la energía	79
Tabla XL Comunidad energética 3, payback general e individual	80
Tabla XLI Resumen precios	86
Tabla XLII Resumen porcentajes autoconsumo y autosuficiencia	87
Tabla XLIII Resumen años payback	87

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Crecimiento de la población y el consumo de energía eléctrica mundial ^[2] ^[3]	11
Gráfica 2. Crecimiento de la población y el consumo de energía eléctrica en España ^[2] ^[3]	12
Gráfica 3. Consumo eléctrico por sectores a nivel mundial ^[2]	13
Gráfica 4. Consumo eléctrico por sectores en España ^[2]	13
Gráfica 5. Métodos de producción de energía eléctrica a nivel mundial ^[2]	14
Gráfica 6. Métodos de producción de energía eléctrica en España ^[2]	15
Gráfica 7. CO2 generado en la combustión del carbón, petróleo y gas natural ^[2]	16
Gráfica 8. Porcentaje de generación fotovoltaica a nivel mundial ^[4]	18
Gráfica 9. Producción fotovoltaica en GWp a nivel mundial ^[4]	18
Gráfica 10. Porcentaje de producción fotovoltaica del 2020 en España (península) ^[5]	19
Gráfica 11. Porcentaje de producción de energías renovables del 2020 en España (península) ^[5]	19
Gráfica 12. Consumos y generación	58
Gráfica 13. Radiaciones en función del ángulo de elevación	58
Gráfica 14. Porcentaje de energía generada y acumulada durante las horas del día	59
Gráfica 15. Datos de la comunidad energética 1	75
Gráfica 16. Datos de la comunidad energética 2	77
Gráfica 17. Datos de la comunidad energética 3	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Curva de consumo-generación de un día ^[6]	22
Figura 2. Curva de consumo-generación de un día, para un sistema conectado a la red, con baja generación ^[6]	23
Figura 3. Curva de consumo-generación de un día, para un sistema conectado a la red, con alta generación ^[6]	23
Figura 4. Autoconsumo individual sin excedentes ^[20]	26
Figura 5. Autoconsumo colectivo sin excedentes ^[20]	27
Figura 6. Autoconsumo individual con excedentes acogido a compensación ^[20]	28
Figura 7. Autoconsumo colectivo con excedentes acogido a compensación ^[20]	28
Figura 8. Autoconsumo individual con excedentes acogido a compensación ^[20]	29
Figura 9. Autoconsumo colectivo con excedentes acogido a compensación ^[20]	29
Figura 10. Tarifa 2.0TD ^[21]	33
Figura 11. Sistema eléctrico actual y sistema eléctrico futuro ^[32]	36
Figura 12. Blockchain para el autoconsumo distribuido ^[34]	40
Figura 13. Marquesinas solares de Lasiera ^[39]	41
Figura 14. Objetivos de Desarrollo Sostenible ^[40]	42
Figura 15. Instalaciones autoconsumo francés ^[44]	44
Figura 16. Esquema autoconsumo francés ^[44]	44
Figura 17. Ángulo de acimut ^[47]	46
Figura 18. Mapa de las estaciones meteorológicas de Euskalmet ^[48]	51
Figura 19. Estación meteorológica de Salvatierra ^[48]	52
Figura 20. i-DE Grupo Iberdrola ^[49]	52
Figura 21. Ayuntamiento de Zaldondo.....	53
Figura 22. Semáforo.....	53
Figura 23. Korta.....	54
Figura 24. Depósito de cloración.....	54
Figura 25. Albergue de peregrinos.....	55
Figura 26. Vivienda 1.....	55
Figura 27. Vivienda 2.....	56
Figura 28. Vivienda 3.....	56
Figura 29. Diferentes radiaciones ^[50]	57

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

- **IEA:** International Energy Agency
- **OCDE:** Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
- **BOE:** Boletín Oficial del Estado
- **RD:** Real Decreto
- **ITC:** Instrucciones Técnicas Complementarias
- **BT:** Baja Tensión
- **MT:** Media Tensión
- **AT:** Alta Tensión
- **PVPC:** Precio Voluntario Para el Pequeño Consumidor
- **OS:** Operador del Sistema
- **UE:** Unión Europea
- **EVE:** Ente Vasco de la Energía
- **ODS:** Objetivos de Desarrollo Sostenible
- **ACC:** Autoconsumo Colectivo Frances
- **VAN:** Valor Actual Neto
- **TIR:** Tasa Interna de Retorno

MEMORIA

1 INTRODUCCIÓN

Los recursos de la tierra, como por ejemplo los combustibles fósiles, son limitados. Sin embargo, las últimas décadas han sido críticas por el uso desmesurado que se ha hecho de estos, con el objetivo en muchas ocasiones de conseguir energía eléctrica. Con todo lo que supone la quema a gran escala de hidrocarburos, se ha llevado al planeta a una situación crítica y a un cambio climático irreversible si no se cambia el modo de obtener la energía.

Mediante la transición energética marcada por la Unión Europea, se pretenden cumplir objetivos para reducir las emisiones de CO₂, mejorar la eficiencia energética y apostar por las fuentes de energía renovables para la producción de energía.

2 CONTEXTO

La energía eléctrica es clave para entender la evolución del ser humano en las últimas décadas. Sin embargo, a pesar de suponer mejoras en la calidad de vida del día a día, los modos de conseguir la energía y el consumo desmesurado de esta en algunas ocasiones, ha hecho que sea necesario un cambio a nivel global.

2.1 Energía eléctrica

La denominada energía eléctrica o electricidad, se considera como la energía que se origina debido a la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos concretos, al ser estos puestos en contacto mediante un transmisor eléctrico. ^[1]

Mediante este contacto, se provoca una corriente eléctrica, en la que se genera una transmisión de electrones (cargas negativas) empleando un material que facilite dicho traslado. Normalmente suelen ser metales y se da desde el punto de generación o almacenamiento, hasta el punto en el que es consumido. Suele ser normal que la energía eléctrica se convierta en otra forma de energía, dependiendo del uso final; térmica, lumínica o mecánica.

La electricidad existe en la naturaleza, siendo parte importante de diversos procesos biológicos. Algunos de estos procesos, ocurren en el cuerpo de los seres humanos. Ejemplo de ello son los impulsos eléctricos de las neuronas del cerebro y los impulsos nerviosos de la médula espinal. Al mismo tiempo, las descargas que producen algunos peces o los relámpagos de las tormentas eléctricas, también son de origen eléctrico.

La electricidad ha sido estudiada desde la antigüedad, pero su estudio científico data de los siglos XVII y XVIII. A finales del siglo XIX, el campo de la ingeniería consiguió que la electricidad se aprovechara tanto en la industria como en los hogares. Con esto, el desarrollo y la expansión de la electricidad se convirtió en la base de la sociedad moderna e industrializada que se conoce hoy en día.

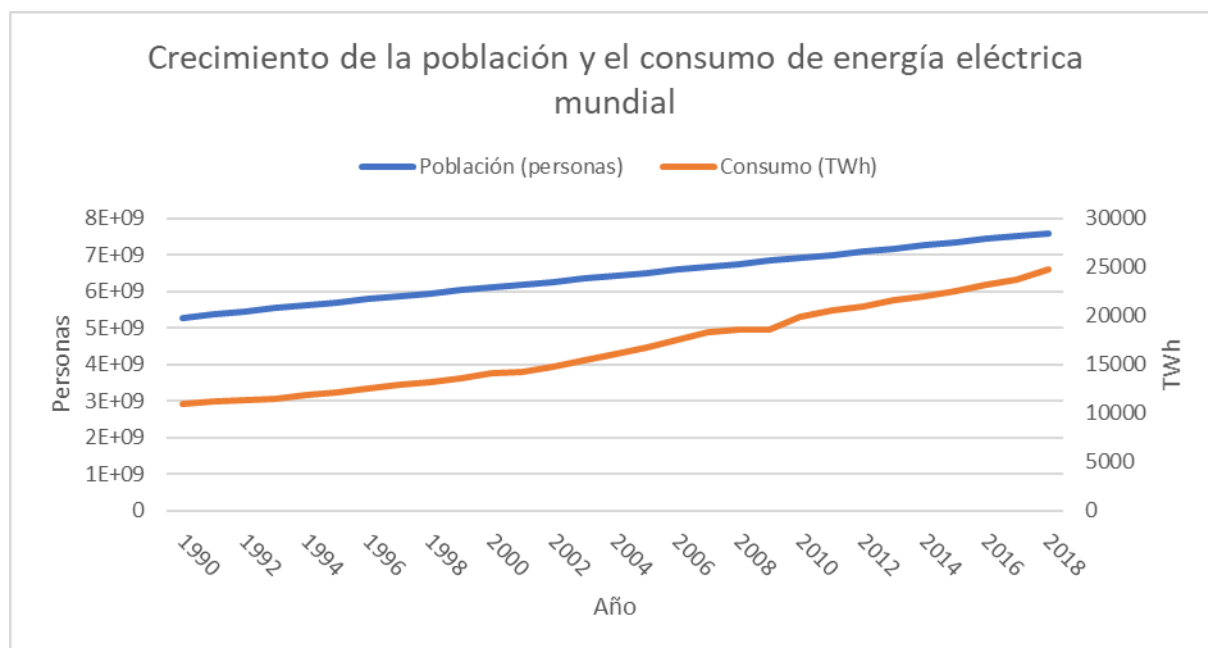
2.2 Consumo de energía eléctrica

Aunque el ser humano haya utilizado la energía y concretamente la energía eléctrica desde siempre, como se ha mencionado anteriormente, cuando en el siglo XIX la ingeniería facilitó el uso de la energía eléctrica tanto en la industria como en el día a día de los hogares, el consumo sufrió un gran incremento. Para resaltar la importancia que supuso dicho aumento, se analizarán los datos de la Agencia Internacional de la Energía o dicho en su nombre de origen *International Energy Agency* (IEA). [2]

La Agencia Internacional de la Energía, es una organización internacional, creada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). Tiene como objetivo principal, la cooperación energética entre los estados miembros. Fue creada en 1974 tras la crisis del petróleo de 1973. Su objetivo en aquel entonces era garantizar el suministro de petróleo entre sus estados miembros. Con el paso de los años ha pasado a tratar temas como la seguridad energética, seguridad eléctrica, cambio climático, contaminación del aire, eficiencia energética y otros temas más.

2.2.1 Consumo de energía eléctrica a nivel mundial

En la *gráfica 1*, se puede ver el consumo de la energía eléctrica y el aumento de la población a nivel mundial, entre los años 1990-2018:

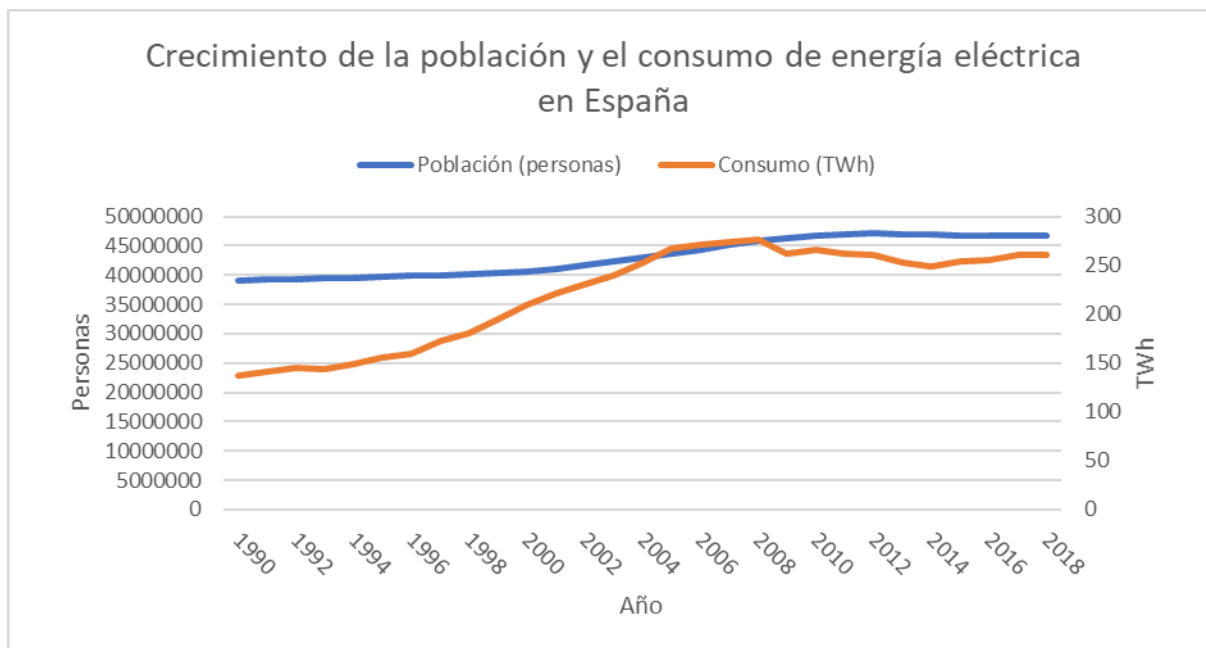


Gráfica 1. Crecimiento de la población y el consumo de energía eléctrica mundial [2] [3]

En la *gráfica 1* se ve claramente que el consumo de la energía eléctrica ha ido creciendo con el paso de los años, pero hay que tener en cuenta también que la población mundial ha aumentado. Aun así, se ve que el nivel de consumo ha aumentado más que el nivel de la población.

2.2.2 Consumo de energía eléctrica en España

En la *gráfica 2*, se puede ver el consumo de la energía eléctrica y el aumento de la población en España, entre los años 1990-2018:



Gráfica 2. Crecimiento de la población y el consumo de energía eléctrica en España [2] [3]

En la *gráfica 2* se ve como el aumento de la población es contenido pero constante. En cambio, en el consumo se ve como pasa de tener un crecimiento constante, decrece por la crisis económica de los años 2008-2014, pero después retoma la tendencia al alza.

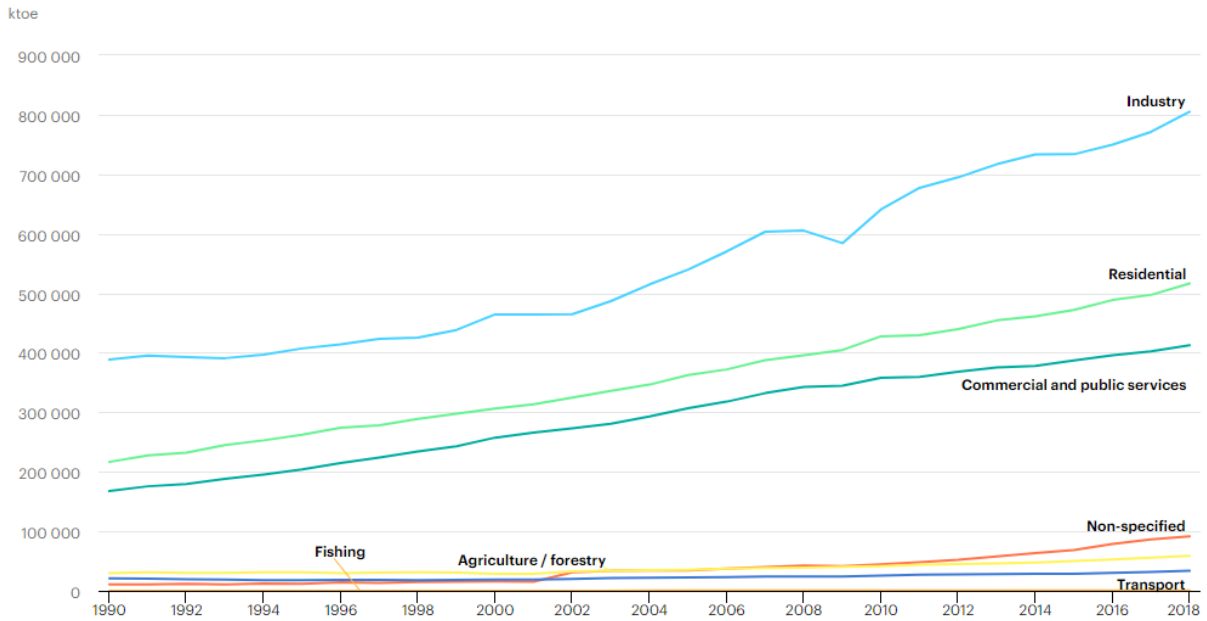
Al igual que sucede con el consumo de la energía eléctrica a nivel mundial, el consumo de energía eléctrica de España se ha duplicado desde el año 1990 hasta hoy en día. Sin embargo, aunque la población haya crecido, no ha llegado a duplicarse, por lo que se ve claramente que el consumo de energía eléctrica por persona está aumentando.

2.3 Consumo de energía eléctrica por sector

Después de analizar los consumos a nivel mundial y español, es importante analizar donde se dan estos. Existen diferentes sectores, como el industrial, servicios, transporte, agricultura, ganadería, pesca, residencial... Cada uno de estos sectores tiene un consumo concreto y esto tiene mucho que ver con el nivel de desarrollo de cada país. A rasgos generales, la industria es el sector que más consume, y se puede decir que son los países desarrollados los que más industria tienen.

2.3.1 Consumo eléctrico por sectores a nivel mundial

En la *gráfica 3*, se puede ver el consumo de la energía eléctrica por sectores a nivel mundial, entre los años 1990-2018:

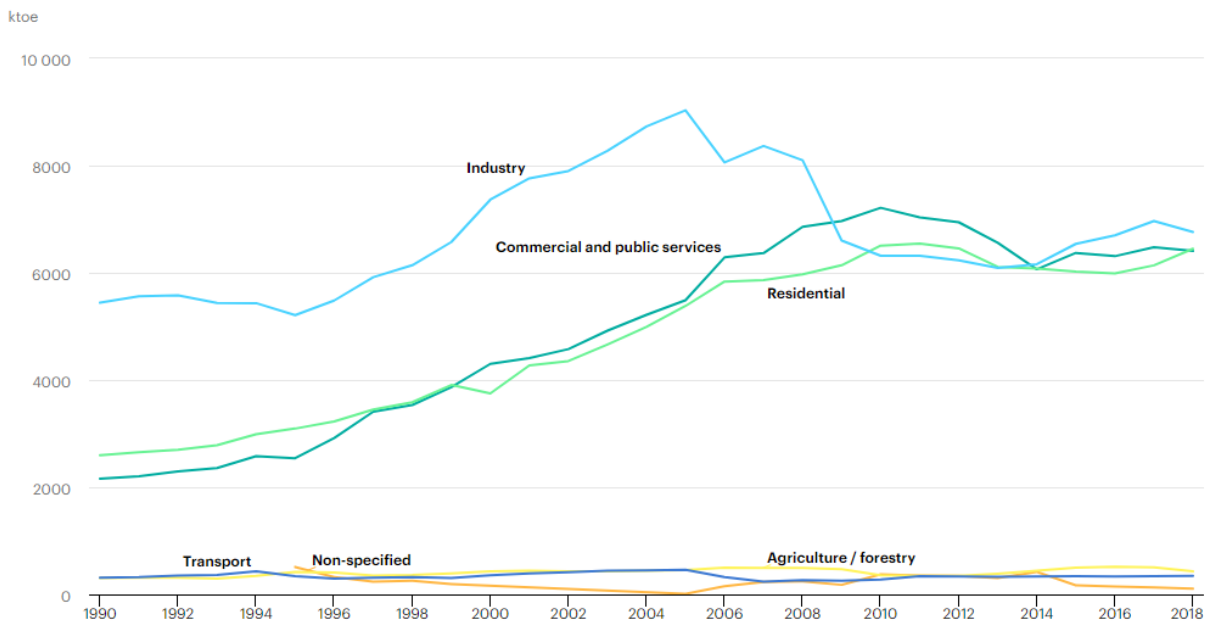


Gráfica 3. Consumo eléctrico por sectores a nivel mundial [2]

Analizando la *gráfica 3* se ve claramente que el sector que más electricidad consume es el industrial. En segunda posición estaría el sector residencial.

2.3.2 Consumo eléctrico por sectores en España

En la *gráfica 4*, se puede ver el consumo de la energía eléctrica por sectores en España, entre los años 1990-2018:



Gráfica 4. Consumo eléctrico por sectores en España [2]

En el caso de España, al igual que a nivel mundial, el sector predominante es el de la industria, seguido del sector residencial.

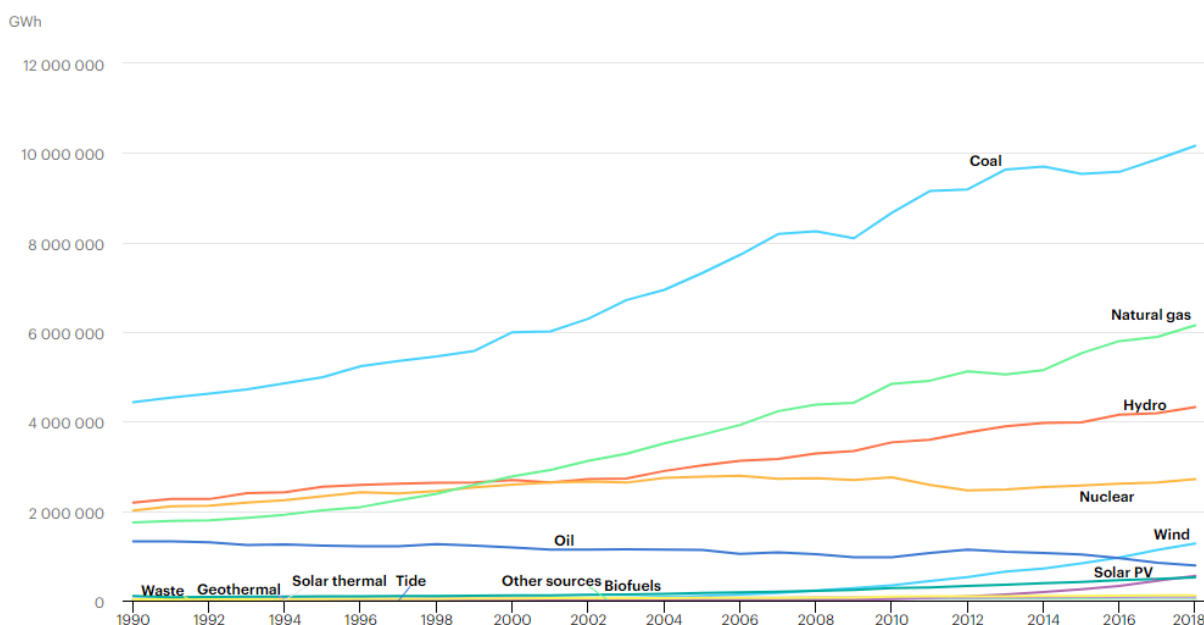
2.4 Producción de energía eléctrica

Existen diferentes modos para generar la energía eléctrica, y estos han cambiado mucho en los últimos años, pero hoy en día los métodos que se utilizan son: carbón, petróleo, gas natural, biocombustibles, residuos, nuclear, hidráulica, geotermia, solar fotovoltaica, eólico y mare motriz.

Algunos de estos son de origen renovable y otros en cambio de origen no renovable. A día de hoy los que más se siguen utilizando son los de origen no renovable, pero con el paso de los años el aumento de las renovables ha sido notorio. Las razones de este aumento son dos; no se van a terminar y contaminan menos.

2.4.1 Modos de producción de energía eléctrica a nivel mundial

En la *gráfica 5*, se pueden ver los métodos de producción de energía eléctrica por sectores a nivel mundial, entre los años 1990-2018:

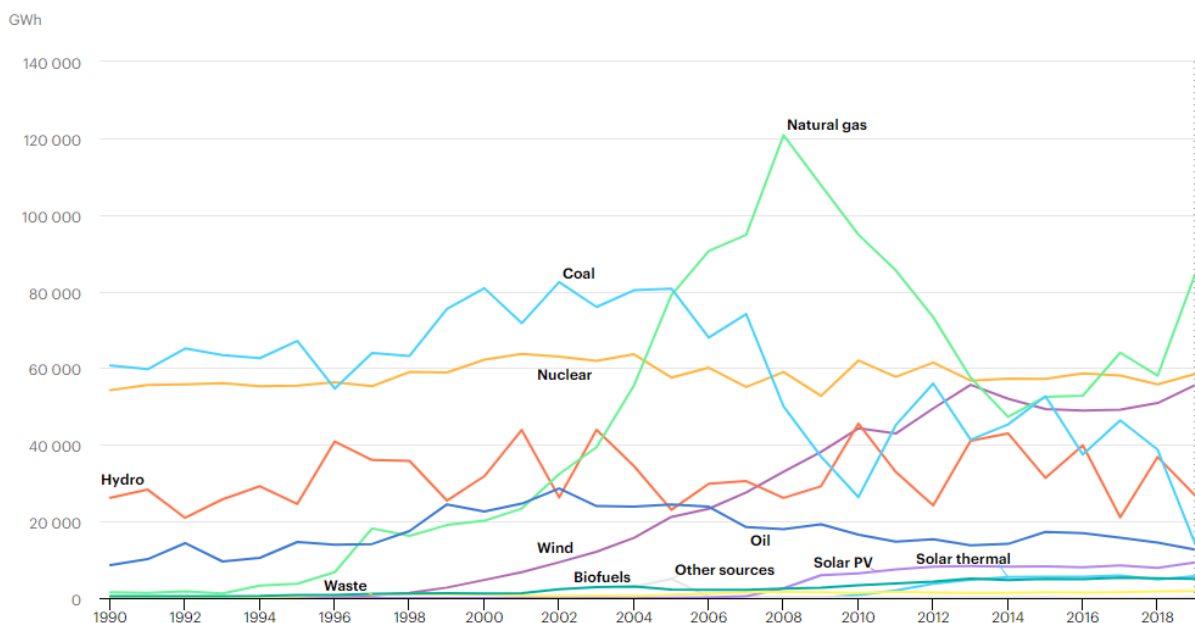


Gráfica 5. Métodos de producción de energía eléctrica a nivel mundial [2]

En la *gráfica 5* se ve que los principales métodos de producción de energía eléctrica a nivel mundial en los últimos años han sido el carbón y el gas natural, es decir, recursos de fuentes no renovables. Después de estos, la hidroeléctrica y la nuclear tiene gran importancia. Aunque en los últimos años los recursos de origen renovable han experimentado un crecimiento, todavía tienen difícil competir contra el carbón.

2.4.2 Modos de producción de energía eléctrica en España

En la *gráfica 6*, se pueden ver los métodos de producción de energía eléctrica por sectores en España, entre los años 1990-2018:



Gráfica 6. Métodos de producción de energía eléctrica en España [2]

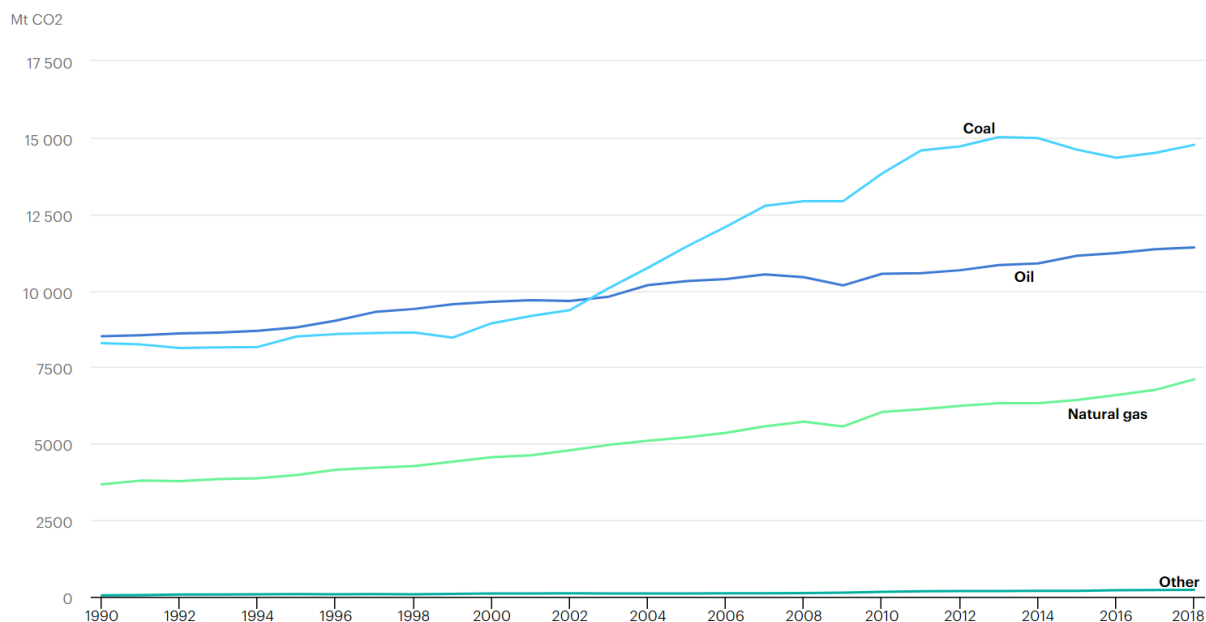
Cada país tiene una realidad distinta en cuanto al modo de producción de energía eléctrica, pero en los últimos años la mayoría de ellos han utilizado fuentes de origen no renovable para obtener energía eléctrica. En la *gráfica 6* se visualiza el caso particular de España. Históricamente la energía eléctrica se ha conseguido mediante el carbón y la energía nuclear, pero en los últimos años se está dando un cambio en favor del gas natural y el viento. Las demás fuentes renovables también han tenido un aumento, pero todavía es muy pequeño en comparación con las de origen no renovable.

2.5 Contaminación generada

Dependiendo de si la fuente de energía empleada para generar energía eléctrica sea renovable o no, se determina si esta es permanente o si se agotará algún día. Al mismo tiempo se puede definir si contamina o si es limpia. Aunque la energía generada mediante fuentes renovables no sea completamente limpia, contamina en menor medida que la energía generada mediante fuentes no renovables.

En muchos casos, para conseguir energía mediante fuentes no renovables, se emplea la combustión de las materias primas (carbón, petróleo y gas natural), y estas generan gases de efecto invernadero y CO₂, siendo estos responsables del cambio climático que se ha acelerado estos últimos años.

En la *gráfica 7* se puede ver la cantidad de CO₂ que se genera principalmente en la combustión del carbón, petróleo y gas natural para generar energía eléctrica:



Gráfica 7. CO2 generado en la combustión del carbón, petróleo y gas natural [2]

En la gráfica 7 también aparece como dato el CO₂ emitido por los demás métodos para generar energía eléctrica, pero se ve claramente como son insignificantes comparados con los generados por el carbón, el petróleo y el gas natural.

2.6 Energías renovables

Las energías renovables son fuentes de energía limpias, competitivas e inagotables o que se renuevan constantemente. La principal diferencia respecto a las fuentes no renovables es que no emiten gases de efecto invernadero, o es insignificante la cantidad que emiten. Además, mientras que los costos para generar energía eléctrica de fuentes no renovables están aumentando, el precio para generar energía eléctrica mediante fuentes renovables está disminuyendo.

Según la IEA, la demanda de energía eléctrica sufrirá un aumento del 70 % para finales del año 2040. A medida que los combustibles fósiles se agoten, será indiscutible la necesidad de las fuentes de energía renovables para hacer frente a dicha demanda.

Además de para hacer frente a la demanda de energía eléctrica, las fuentes renovables serán necesarias para reducir el efecto invernadero y el cambio climático. El 2014 fue el año más caluroso de los últimos tiempos. Desde el final del siglo XIX, el planeta tierra ha experimentado un aumento de temperatura de 0,85°C. Este aumento tiene una tendencia al alza, por lo que en el 2015 se firmó el acuerdo de París, en la Cumbre Mundial del Clima. 200 países firmaron el acuerdo, donde se comprometían a fijar como máximo en 2°C la subida de temperatura y si fuera posible de 1,5°C.

2.6.1 Tipos de energías renovables

Las fuentes de energía no renovables son suficientemente conocidas; combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) y energía nuclear. Pero las energías renovables no lo son tanto:

- **Energía eólica:** energía que se obtiene del viento
- **Energía solar fotovoltaica:** energía que se obtiene de la radiación del sol
- **Energía solar térmica:** energía que se obtiene del calor del sol
- **Energía hidráulica:** energía que se obtiene del movimiento del agua
- **Biomasa y biogás:** energía que se obtiene de la materia orgánica
- **Geotermia:** energía contenida bajo el suelo
- **Energía mareomotriz:** energía que se obtiene de las mareas
- **Energía undimotriz:** energía que se obtiene de las olas
- **Bioetanol:** combustible orgánico que se obtiene de la fermentación de los productos vegetales
- **Biodiesel:** combustible orgánico que se obtiene de los aceites vegetales

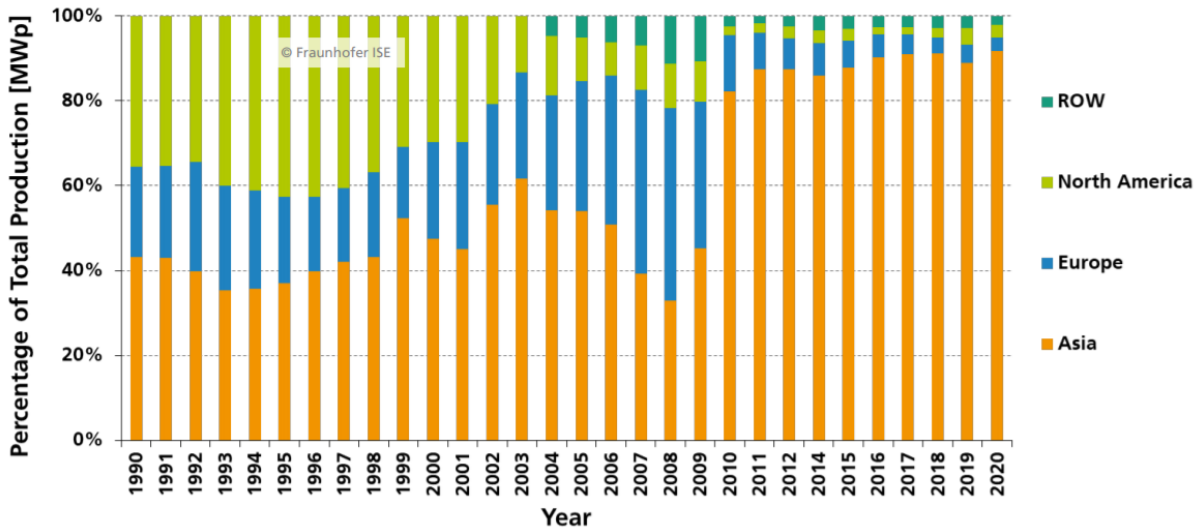
2.6.2 Ventajas de las energías renovables

- **Son adecuadas para hacer frente al cambio climático.** En el proceso para generar la energía no generan gases de efecto invernadero ni emiten CO₂.
- **Son infinitas.** Al contrario que las energías no renovables (combustibles fósiles y energía nuclear), no se van a terminar, ya que se generan por la influencia de los ciclos naturales del sol.
- **Son sostenibles.** Sirven para hacer frente a las necesidades actuales, sin poner en riesgo la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus necesidades.
- **Reducen la dependencia energética.** Es posible utilizar los recursos del propio lugar dejando de lado la dependencia con los países productores de combustibles fósiles.
- **Son viables.** Los costes se han reducido, llegando a ser competitivas con las no renovables.
- **Legislación a favor.** La ley está a favor de un cambio en el paradigma de la energía, ayudando a la implantación de las renovables.

2.7 Energía fotovoltaica

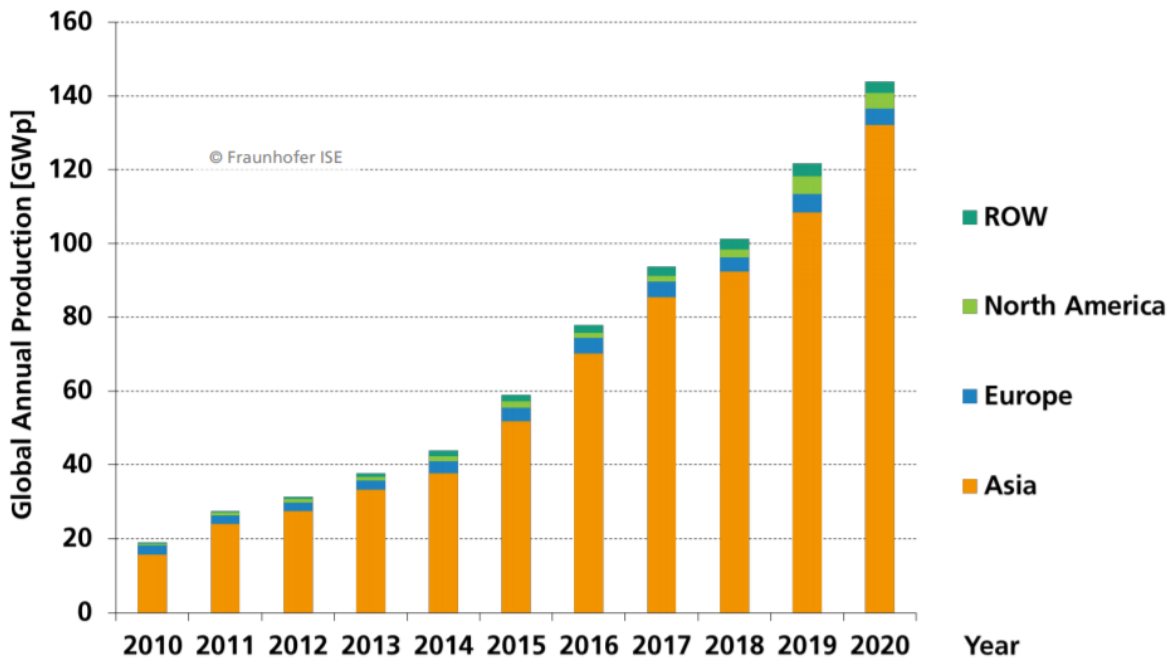
La energía fotovoltaica consiste en transformar la radiación solar en energía eléctrica de un modo directo. Esta transformación tiene lugar mediante los paneles fotovoltaicos. La radiación solar al incidir en los paneles fotovoltaicos libera electrones generando un flujo de energía eléctrica.

La energía eléctrica que se consigue mediante un panel fotovoltaico depende de la calidad del panel, de las condiciones meteorológicas y de la posición del panel respecto a los rayos del sol.



Gráfica 8. Porcentaje de generación fotovoltaica a nivel mundial [4]

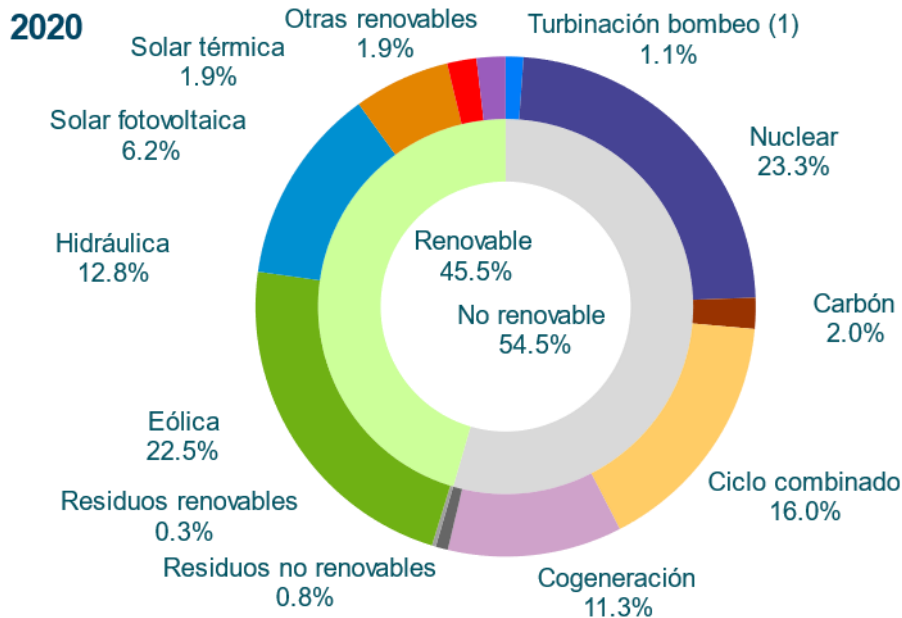
En la *gráfica 8* se muestra la división de los porcentajes de generación fotovoltaica a nivel mundial. Los datos que se muestran reflejan la realidad de los años del periodo entre 1990 y 2020. En ellos se puede ver como hoy en día la mayor producción de energía fotovoltaica la tiene Asia.



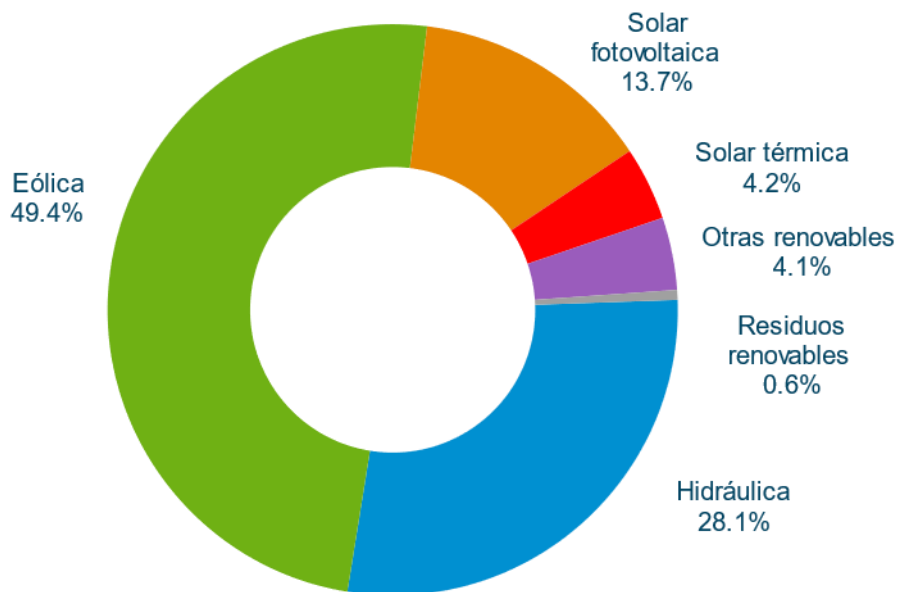
Gráfica 9. Producción fotovoltaica en GWp a nivel mundial [4]

En la *gráfica 9* se muestra la producción fotovoltaica en GWp a nivel mundial. Los datos son de los últimos 10 años (2010-2020). En esta grafica se puede ver mejor como Asia ha sido el continente con mayor producción fotovoltaica de los últimos años.

En cuanto a los datos de España (península) del 2020, de toda la producción de energía eléctrica, solo un 6,2 % fue de origen fotovoltaico. Si trasladamos ese dato al porcentaje de las energías renovables, la producción fotovoltaica equivaldría al 13,7 %. Estos datos se muestran en las siguientes gráficas:



Gráfica 10. Porcentaje de producción fotovoltaica del 2020 en España (península) [5]



Gráfica 11. Porcentaje de producción de energías renovables del 2020 en España (península) [5]

3 OBJETIVOS Y ALCANCE DEL TRABAJO

El objetivo principal de este trabajo, ha sido contribuir al análisis económico de una instalación de autoconsumo mediante el estudio de diferentes casos, para ver las diferencias que aporta cada uno. Dentro de esto, se ha buscado realizar el análisis más específico posible, empleando datos reales, y realizando un análisis de todo un año, hora a hora.

Para llevar a cabo estos objetivos, en el presente estudio, se han realizado dos trabajos principales; por un lado, se ha creado un conjunto de programas mediante la herramienta Matlab, para, sin emplear PVGIS ni PVsyst, y partiendo de la radiación horizontal de un lugar, obtener la energía disponible en dicho lugar.

Por otro lado, se han planteado diferentes comunidades energéticas de autoconsumo, con particularidades en la inclinación, el acimut, la potencia, los coeficientes de reparto y los coeficientes de inversión. Con esto, se ha realizado un análisis de todos los datos obtenidos para valorar las diferentes estrategias de reparto, los diferentes tamaños posibles para las instalaciones, la adaptación del dimensionamiento y la colocación para cada caso, y finalmente ver la idoneidad o no de cada instalación, dependiendo de los resultados económicos obtenidos y de los porcentajes de autoconsumo y autosuficiencia.

Además de los dos trabajos principales citados en los anteriores párrafos, este trabajo ha servido para analizar la evolución del consumo de la energía eléctrica de las últimas décadas, analizar los parámetros de autoconsumo y autosuficiencia, explicar la legislación del autoconsumo y las comunidades energéticas en España, mostrar los diferentes tipos de opciones a la hora de realizar instalaciones de autoconsumo, detallar el cambio de la tarifa eléctrica, poner ejemplos de comunidades energéticas existentes, comparar los coeficientes de reparto existentes en España con los de Francia y explicar cómo obtener los valores de energía en un lugar concreto, partiendo de la radiación horizontal.

A partir del 1 de junio de 2021 entra en vigor la nueva tarifa 2.0TD para contratos de hasta 15 kW. Sin embargo, en el análisis que se verá más adelante, se emplearán los precios de la tarifa en vigor hasta el 1 junio de 2021, para poder tener precios de la energía de cada una de las horas del año 2020.

El análisis económico se centrará en los precios de la energía consumida, dejando de lado los costes por impuestos, potencia contratada, alquileres de equipos...

4 BENEFICIOS QUE APORTA EL TRABAJO

Mediante este trabajo, se realiza una investigación alrededor de las comunidades energéticas, las posibilidades de autoconsumo, la legislación, las oportunidades y las trabas. De esta manera, se valora la opción de integrar comunidades energéticas en el sistema eléctrico, dando un paso más para pasar de un sistema eléctrico centralizado a uno descentralizado.

Además de esto, el conjunto de programas creados en Matlab, permiten realizar análisis de viabilidad para instalaciones de autoconsumo tanto individuales como colectivas, valorando la idoneidad o no de cada una de ellas.

5 ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE

5.1 Indicadores (autoconsumo/autosuficiencia)

Las instalaciones fotovoltaicas pueden tener diferentes configuraciones; aisladas, conectadas a red, sin posibilidad de verter energía a la red, con posibilidad de verter energía a la red, sistemas sin baterías, con baterías y las distintas posibles combinaciones de estas.

Combinando las anteriores opciones, las instalaciones posibles son las siguientes:

- Sistemas aislados sin baterías
- Sistemas aislados con baterías
- Sistemas conectados a red, sin posibilidad de verter energía a la red y sin baterías
- Sistemas conectados a red, sin posibilidad de verter energía a la red y con baterías
- Sistemas conectados a red, con posibilidad de verter energía a la red y sin baterías
- Sistemas conectados a red, con posibilidad de verter energía a la red y con baterías

Como se mencionará más adelante, la legislación española no toma como instalaciones de autoconsumo aquellas instalaciones que no están conectadas a la red, sino como instalaciones aisladas.

No es adecuado instalar un sistema aislado sin baterías, ya que fuera de las horas de generación no existirá la posibilidad de hacer uso de la energía. Del mismo modo, en las instalaciones conectadas a red, cuando la generación es 0, existe la posibilidad de coger la energía necesaria de la red, por lo que no tiene sentido que este tipo de instalación tenga un sistema de almacenamiento mediante baterías. Lo más conveniente es que las baterías se pongan en los sistemas aislados, para poder hacer uso de la energía en las horas de 0 producción.

Todas las instalaciones tienen en común dos indicadores; el autoconsumo y la autosuficiencia. En muchas ocasiones se toma como si fuesen lo mismo, pero no lo son. Para definir cada uno de ellos, se tomará como referencia una imagen, la cual muestra el consumo y la producción durante un día:

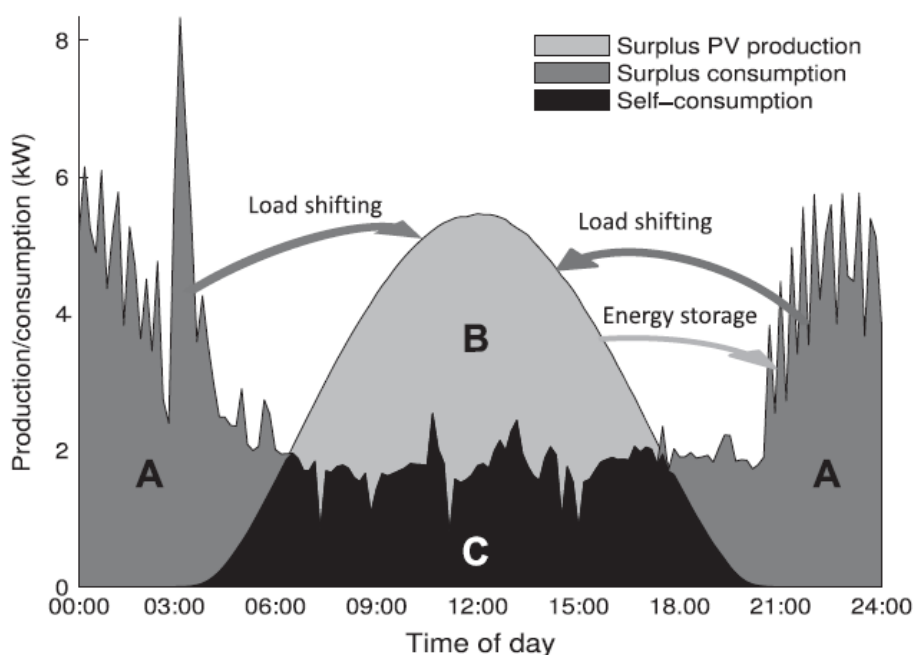


Figura 1. Curva de consumo-generación de un día [6]

En la *figura 1*, se puede ver que la suma de las áreas A y C representan la curva de consumo de un emplazamiento, sin embargo, la suma de las áreas B y C representan la curva de generación de una instalación.

El objetivo de las instalaciones de autoconsumo es cubrir las necesidades de consumo con la energía generada. Siendo esto así, y haciendo referencia a la *figura 1*, el objetivo es que la suma de las áreas B y C, encaje con la suma de las áreas A y C. Con esto, se conseguirá que la mayor parte de la energía generada, se consuma.

Se define como autoconsumo, la relación entre la energía generada y la energía consumida. Según la *figura 1*, si las áreas B y C muestran la energía generada, la energía que se consume sería la C.

$$\text{Autoconsumo} = \frac{C}{B+C}$$

Se define como autosuficiencia, de toda la energía consumida cuanta proviene del sistema fotovoltaico. Según la *figura 1*, si las áreas A y C muestran la energía consumida, la energía consumida proveniente del sistema fotovoltaico sería la C.

$$\text{Autosuficiencia} = \frac{C}{A+C}$$

A pesar de que el autoconsumo y la autosuficiencia no sean lo mismo, están relacionadas entre sí, ya que cuanto más aumente el autoconsumo, mayor será la autosuficiencia.

En las siguientes figuras se muestran los ejemplos de dos sistemas fotovoltaicos dimensionados de diferente modo:

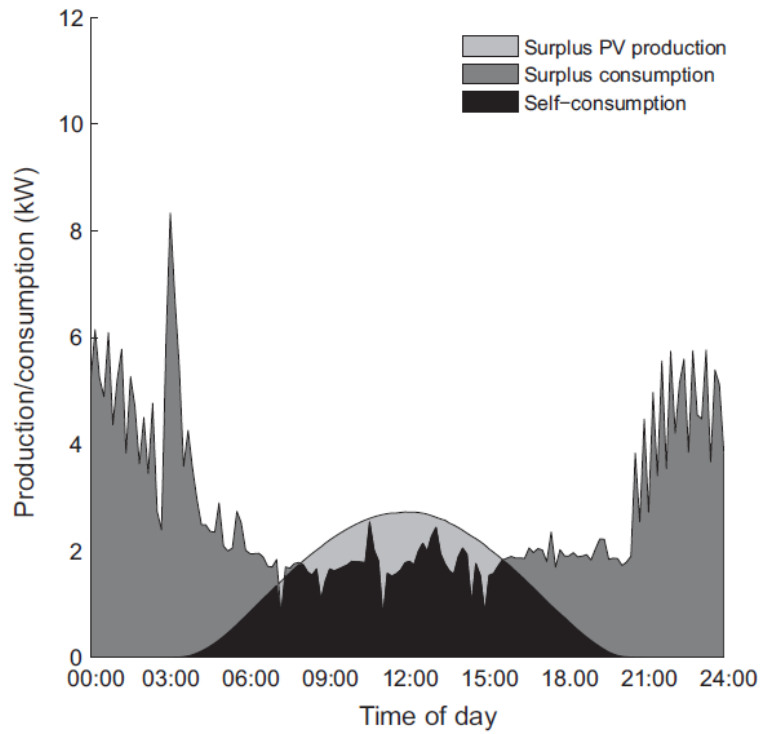


Figura 2. Curva de consumo-generación de un día, para un sistema conectado a la red, con baja generación [6]

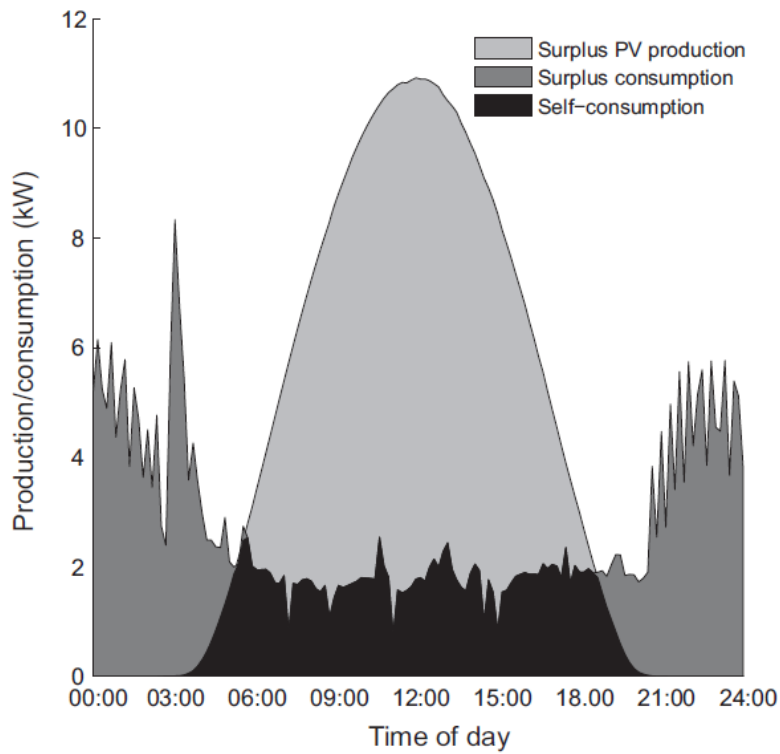


Figura 3. Curva de consumo-generación de un día, para un sistema conectado a la red, con alta generación [6]

En la *figura 2*, como se ha mencionado anteriormente, las áreas B y C, está integradas con las áreas A y C en gran parte de las horas, sin embargo, en la *figura 3*, eso no se da así, ya que el área B es muy grande, y no se aprovecha.

Por ello, la *figura 2* será más adecuada para una instalación de autoconsumo conectada a red, y la *figura 3* será más adecuada para una instalación aislada con baterías.

5.2 Legislación

En la Ley 24/2013 del 26 de diciembre del Sector Eléctrico, se definía 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"*. [7]

El Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, fue publicado el 10 de octubre de 2015 en el Boletín Oficial del Estado (BOE), con el objetivo de regular las condiciones administrativas, económicas y técnicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo. En el reglamento se recogían los requisitos técnicos que tenían que cumplir las instalaciones de autoconsumo de energía eléctrica con el objetivo de cumplir con los criterios de seguridad.

Más tarde, se aprobó el Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, compuesto de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores, para que las instalaciones de autoconsumo se beneficiasen de las ventajas que acarrea dicha actividad.

Para impulsar que el autoconsumo se realice mediante generación distribuida renovable, en el Real Decreto Ley se establece que la energía auto consumida de origen renovable estará exenta de peajes y cargos adicionales.

Siendo esto así, se realiza la reforma del artículo 9 de la Ley 24/2013, de 26 de diciembre, con los siguientes cambios:

- Se define el autoconsumo como *"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"*. [7]
- Se reducen las definiciones de las modalidades de autoconsumo a solo dos; "autoconsumo con excedentes" o "autoconsumo sin excedentes". En el caso del autoconsumo con excedentes se podrá realizar vertidos a las redes de distribución y transporte. En cambio, en la modalidad sin excedentes no.
- En el caso de las instalaciones hasta 100 kW, se podrán desarrollar mecanismos de compensación de excedentes.

A pesar de que a nivel nacional existe una legislación concreta que rige el autoconsumo, son diversas las leyes que hacen referencia a la energía eléctrica, su transporte, seguridad, distribución... Todas ellas se recogen en el BOE. Es por ello, que en la siguiente lista se mencionarán las diferentes leyes que hacen referencia a la energía eléctrica.

Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico.
«BOE» núm. 310, de 27 de diciembre de 2013 [8]

Ley 49/1960, de 21 de julio, sobre propiedad horizontal
«BOE» núm. 177, de 23 de julio de 21970 [9]

Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores.
«BOE» núm. 242, de 6 de octubre de 2018 [10]

Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo.
«BOE» núm. 243, de 10 de octubre de 2015 [11]

Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica.
«BOE» núm. 83, de 6 de abril de 2019 [7]

Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
«BOE» núm. 310, de 27/12/2000 [12]

Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia.
«BOE» núm. 295, de 8 de diciembre de 2011 [13]

Real Decreto 1048/2013, de 27 de diciembre, por el que se establece la metodología para el cálculo de la retribución de la actividad de distribución de energía eléctrica.
«BOE» núm. 312, de 30 de diciembre de 2013 [14]

Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión.
«BOE» núm. 224, de 18 de septiembre de 2002 [15]

Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23.
«BOE» núm. 139, de 9 de junio de 2014 [16]

Real Decreto 1110/2007, de 24 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico.
«BOE» núm. 224, de 18 de septiembre de 2007 [17]

Real Decreto 647/2020, de 7 de julio, por el que se regulan aspectos necesarios para la implementación de los códigos de red de conexión de determinadas instalaciones eléctricas.
«BOE» núm. 187, de 8 de julio de 2020 [18]

Real Decreto Legislativo 2/2004, de 5 de marzo por el que se aprueba el texto refundido de la Ley Reguladora de las Haciendas Locales.
«BOE» núm. 59, de 9 de marzo de 2004 [19]

5.3 Instalaciones de autoconsumo

Como se ha mencionado anteriormente, las instalaciones de autoconsumo se pueden definir como 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.

Las instalaciones que no están conectadas a red no son instalaciones de autoconsumo, estas se denominan instalaciones aisladas.

Según el Real Decreto 244/2019, las instalaciones de autoconsumo pueden ser de las siguientes modalidades; autoconsumo sin excedentes o autoconsumo con excedentes. Del mismo modo, las instalaciones de autoconsumo con excedentes pueden acogerse a compensación simplificada o no.

5.3.1 Instalaciones de autoconsumo sin excedentes

Son las instalaciones de autoconsumo que, a pesar de estar conectadas en la red interior del consumidor, no inyectan energía a la red en ningún momento. Para asegurar que no viertan energía a la red, tienen que tener un sistema anti vertido de acuerdo con la ITC-BT-40.

El consumidor será la persona titular de las instalaciones de autoconsumo conectadas a red, por lo que será la persona responsable ante cualquier incumplimiento que suponga consecuencias en la red.

Las instalaciones de autoconsumo sin excedentes pueden ser individuales o colectivas, como se puede ver en las *figuras 4 y 5*:

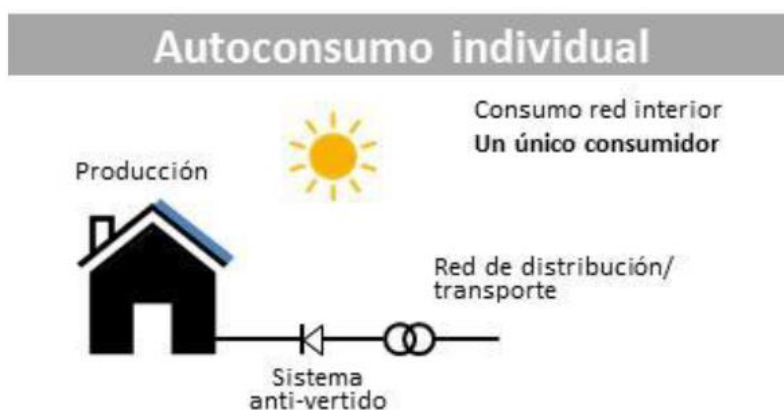


Figura 4. Autoconsumo individual sin excedentes [20]



Figura 5. Autoconsumo colectivo sin excedentes [20]

5.3.2 Instalaciones de autoconsumo con excedentes

Son las instalaciones de autoconsumo conectadas a la red de transporte o distribución y que pueden inyectar energía a la red.

En la modalidad de autoconsumo con excedentes, el productor y consumidor responderá ante los posibles incumplimientos legales, ya que la instalación puede estar conectada a red interior o puede compartir infraestructura con la red de transporte y distribución.

Las instalaciones con excedentes pueden ser acogidas a compensación o no acogidas a compensación.

5.3.2.1 Instalaciones de autoconsumo con excedentes acogidas a compensación

Para los casos de las instalaciones de autoconsumo individual o colectivo con excedentes, conectados a red interior, el consumidor o consumidores pueden voluntariamente acogerse al mecanismo de compensación de excedentes.

Mediante el mecanismo de compensación, la energía procedente de la instalación de autoconsumo que no se consume o almacena en el momento de su generación, es inyectada a la red. Del mismo modo, cuando los consumidores no tengan suficiente con la energía que están generando, comprarán la energía de la red, al precio que se estipule en el contrato de suministro, es decir, PVPC o mercado libre.

La compensación entre el coste de la energía comprada de la red y el valor de la energía excedentaria inyectada a la red, se realiza al final del periodo de facturación. Dicho periodo no podrá ser mayor a un mes. El importe máximo a compensar será el importe de la energía comprada a la red, ya que en ningún momento el resultado de la compensación podrá ser negativo ni podrá compensar los costes de los peajes de acceso.

Las instalaciones de autoconsumo con excedentes acogidas a compensación podrán ser individuales o colectivas, pero siempre tendrán que tener la conexión en red interior. Esto se ve en las figuras 6 y 7.



Figura 6. Autoconsumo individual con excedentes acogido a compensación [20]



Figura 7. Autoconsumo colectivo con excedentes acogido a compensación [20]

Para poder acogerse a la modalidad de compensación simplificada, es necesario cumplir con las siguientes condiciones:

- La instalación de producción es de fuente renovable
- La instalación de producción tendrá una potencia igual o inferior a 100 kW
- Existirá un contrato único para el consumo y los servicios auxiliares
- Existirá un contrato de compensación de excedentes entre productor y consumidor
- La instalación de producción no podrá tener otorgado un régimen retributivo adicional

5.3.2.2 Instalaciones de autoconsumo con excedentes no acogidas a compensación

En la modalidad de instalaciones de autoconsumo con excedentes no acogidas a compensación entran las instalaciones de autoconsumo que aun teniendo excedentes no

quieran por voluntad propia acogerse a la compensación simplificada o los casos en los que no se cumpla alguno de los requisitos planteados en el apartado 5.3.2.1.

Las instalaciones de autoconsumo con excedentes no acogidas a compensación podrán ser individuales o colectivas. Esto se ve en las figuras 8 y 9.



Figura 8. Autoconsumo individual con excedentes acogido a compensación [20]



Figura 9. Autoconsumo colectivo con excedentes acogido a compensación [20]

5.3.3 Autoconsumo colectivo

El autoconsumo colectivo está formado por una o varias instalaciones generadoras de energía eléctrica y por un grupo de consumidores que se asocian a estas instalaciones.

Según el Real Decreto de 5 de abril, "un sujeto consumidor participa en un autoconsumo colectivo cuando pertenece a un grupo de varios consumidores que se alimentan, de forma acordada, de energía eléctrica proveniente de instalaciones de producción próximas a las de consumo y asociadas a las mismas". [7]

Para que las instalaciones de autoconsumo puedan realizarse en red interior, tienen que cumplir los siguientes requisitos:

- Realizar la conexión a la red de BT que se deriva del mismo centro de transformación al que pertenece el consumidor
- La generación y los consumos tienen que estar conectados, en BT y a una distancia entre ellos menor a 500 m
- Los consumidores asociados y la instalación generadora tienen que ubicarse en la misma referencia catastral

Los autoconsumos colectivos podrán pertenecer a cualquiera de las modalidades que recoge el Real Decreto 244/2019, pudiendo ser autoconsumo colectivo sin excedentes, autoconsumo colectivo sin o con excedentes acogido a compensación o autoconsumo colectivo con excedentes no acogido a compensación.

En el caso del autoconsumo colectivo, todos los consumidores deben estar asociados a la misma modalidad de autoconsumo. Además, todas las personas que formen parte en el autoconsumo colectivo tendrán que firmar un acuerdo con los criterios de reparto de la energía generada.

Los criterios de reparto de la energía generada podrán realizarse según las necesidades de los consumidores, pero estos tienen que ser coeficientes de reparto fijos, es decir, la suma de todos tiene que ser 1.

La energía horaria neta individualizada para los consumidores de las instalaciones colectivas de autoconsumo se calcula mediante la siguiente expresión:

$$ENG_{h,i} = \beta_i \cdot ENG_h$$

donde:

ENG_h = energía horaria neta total producida por la instalación

β_i = coeficiente de reparto de la energía generada para el consumidor "i"

El coeficiente de reparto β_i tiene que figurar en el acuerdo de reparto de los consumidores y debe cumplir con los siguientes apartados:

- Ser constante para cada consumidor durante el periodo de facturación (1 mes)
- La suma de los coeficientes de reparto β_i de los consumidores que formen parte de la instalación de autoconsumo tendrá que ser 1
- Si existe un único consumidor, β_i será 1

Para calcular β_i , puede utilizarse cualquier criterio acordado entre los consumidores asociados a la instalación de autoconsumo. Sin embargo, el Real Decreto 244/2019 propone repartir dicho coeficiente en función de la potencia contratada por cada consumidor. Para ello existe la siguiente fórmula:

$$\beta_i = \frac{\text{Potencia máxima contratada (consumidor i)}}{\sum \text{Potencias máximas contratadas (consumidores asociados)}}$$

En los casos en los que alguno de los consumidores abandone el autoconsumo colectivo o se sume alguno nuevo, será necesario acordar nuevos coeficientes de reparto.

5.3.4 Funcionamiento del autoconsumo con compensación simplificada

Como se ha mencionado anteriormente, el Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, establece que los consumidores asociados a instalaciones de producción de autoconsumo podrán acogerse a compensación simplificada en los siguientes casos:

- Instalaciones de autoconsumo individual con excedentes
- Instalaciones de autoconsumo colectivo sin excedentes
- Instalaciones de autoconsumo colectivos con excedentes

Para que dichas instalaciones puedan acogerse a compensación simplificada tendrán que cumplir con las siguientes condiciones:

- La instalación de generación será de fuente renovable
- La potencia de la instalación de generación será igual o menor a 100 kW
- La instalación no puede tener otorgado un régimen retributivo adicional
- Se ha firmado un contrato de compensación de excedentes entre productor y consumidor
- Existe un contrato de suministro para los servicios auxiliares

Para que el contrato de suministro para los servicios auxiliares pueda unificarse y cumplir la condición necesaria para acogerse a compensación simplificada, será necesario que:

- Las instalaciones de producción estén conectadas en la red interior del consumidor
- El titular de las instalaciones de producción y el consumidor sean la misma persona física o jurídica

En las instalaciones colectivas con excedentes a través de red, los servicios auxiliares de producción no están conectados en red interior. Siendo esto así, no es posible unificar el contrato de suministro con el de consumo. Sin embargo, en las instalaciones colectivas con excedentes a través de red, si la generación se conecta a la red interior de al menos uno de los consumidores asociados, este requisito se dará por cumplido.

5.3.4.1 Acuerdo de compensación de excedentes

El contrato de compensación simplificada para la modalidad de autoconsumo con excedentes se firma entre el productor y el consumidor asociado o entre el productor y los consumidores asociados para el caso del autoconsumo colectivo. Tendrá que ser firmado a pesar de que el productor y el consumidor sean la misma persona.

El contrato servirá para identificar a todas las personas que tomen parte en el autoconsumo, ya sea como productores o como consumidores. Este contrato tendrá que remitirse a la compañía distribuidora, directamente o a través de la comercializadora.

Para el caso de los autoconsumos colectivos, el contrato tendrá que incluir el criterio de reparto de la energía que los consumidores asociados hayan consensuado.

5.3.4.2 El mecanismo de compensación simplificada

El mecanismo de compensación simplificada consiste en un saldo vasado en términos económicos de la energía excedentaria horaria para cada uno de los consumidores en el periodo de facturación.

La energía procedente de la instalación de autoconsumo que los consumidores no consuman al momento o no almacenen, es decir, los excedentes, se inyectada en la red. Del mismo modo, cuando la energía de la instalación de autoconsumo no sea suficiente para cubrir la demanda requerida por el consumidor, este comprará la energía a la red, al precio marcado por su contrato de suministro.

Para el caso de las instalaciones de autoconsumo sin excedentes, la energía sobrante no se inyecta a la red ya que existe un sistema anti vertido.

Los excedentes horarios de cada consumidor son asignados mediante el Operador del Sistema (OS) a la empresa comercializadora. Con la información de la lectura comunicada por el OS, la comercializadora obtiene el precio medio horario del mercado eléctrico que corresponden a los excedentes asignados. Mediante esto, se compensa al consumidor según lo establecido en el RD 244/2019.

El máximo importe compensable será el importe de la energía comprada de la red, para el periodo de un mes. El resultado de la compensación nunca podrá ser negativo, ni podrá compensar los pagos por peajes de acceso. Al final del periodo de compensación fijado como un mes, se realiza la compensación entre la energía excedentaria inyectada en la red y la energía comprada de la red.

La energía excedentaria se valora con un precio, y a este precio se le resta el importe de la energía adquirida de la red. Para ello, existen dos posibilidades:

- Cuando el consumidor tenga un contrato de suministro con una comercializadora libre:
 - La energía horaria que se consume de la red, se valora al precio horario que figura en el contrato de suministro previamente acordado con la comercializadora.
 - La energía horaria que se inyecta a la red, se valora al precio horario acordado entre la comercializadora y el consumidor.

- Cuando el consumidor tenga un contrato PVPC con una comercializadora de referencia:
 - La energía horaria que se consume de la red, se valora al coste horario de energía del PVPC para cada una de las horas.
 - La energía horaria que se inyecta a la red, se valora al precio medio horario (P_{mh}) que se obtiene a partir del resultado del mercado diario e intradiario para cada hora, menos el coste de los desvíos ($CDSV_h$) para esa hora.

El mecanismo de compensación simplificada tiene unas limitaciones:

- Dentro del periodo de facturación, el valor económico de la energía horaria excedentaria nunca podrá ser superior al valor económico de la energía horaria consumida de la red.

- El periodo de facturación será de una duración máxima de un mes.
- El productor no podrá participar en otro mecanismo de venta de energía si ya está acogido al mecanismo de compensación simplificada.
- La energía horaria excedentaria de los consumidores acogidos al mecanismo de compensación simplificada está exenta de satisfacer los peajes de acceso establecidos en el Real Decreto 1544/2011, de 31 de octubre, ya que no se considera como energía incorporada al sistema eléctrico.
- Los consumidores acogidos al mecanismo de compensación simplificada tendrán que remitir el contrato de la compensación de excedentes a la empresa distribuidora.

5.4 Nueva tarifa 2.0TD, para contratos de hasta 15 kW

A partir del 1 de junio de 2021 entra en vigor la nueva tarifa 2.0TD para contratos de hasta 15 kW. Con esta nueva tarifa, quedan atrás las tarifas 2.0A, 2.0DHA, 2.0DHS, 2.1A, 2.1DHA y 2.1DHS.

La única opción será la tarifa 2.0TD, que tendrá 3 periodos horarios con 3 precios diferentes de energía. Dependiendo del momento del día en el que se consuma la energía, esta tendrá un precio u otro. Para ello, se sigue el siguiente horario, que no varía en función de si es invierno o verano:



Figura 10. Tarifa 2.0TD [21]

- **Periodo punta:** de 10 a 14 h y de 18 a 22 h. Es el periodo en el que la energía será más cara.
- **Periodo llano:** de 8 a 10 h, de 14 a 18 h y de 22 a 24 h. Durante el período llano, la energía será más barata que en el periodo punta, pero más cara que en el periodo valle.
- **Periodo valle:** de 00 a 8 h de la mañana, fines de semana y festivos estatales. Es el periodo en el que la energía será más barata.

Con la tarifa 2.0TD, también existirá la posibilidad de tener dos potencias diferentes contratadas. Se diferencian por un lado el tramo de 00 a 8 h de la mañana, fines de semana y festivos y por otro lado las demás franjas horarias. En estas horas el precio de la potencia será más económico, al igual que el precio de la energía. Esto será

interesante para los consumidores que tengan aparatos que requieran mucha potencia, como por ejemplo un acumulador de agua caliente, un coche de eléctrico de carga rápida... Con esto, será posible contratar una potencia diferente para el tramo horario mencionado anteriormente, ahorrando el pago constante de una potencia superior aun cuando no se necesite. [22]

Los periodos para la potencia son los siguientes:

- **Periodo punta:** de 8 a 24 h durante los días laborables.
- **Periodo valle:** de 00 a 8 h de la mañana, fines de semana y festivos estatales.

5.5 Comunidades energéticas

El autoconsumo, que consiste en consumir localmente una parte de la energía fotovoltaica producida, permite suavizar las variaciones en la producción de energía solar, y por lo tanto reducir el estrés en la red. Además de esto, el autoconsumo tiene como objetivo minimizar el intercambio de energía con la red, mejorar la estabilidad de la red y maximizar la rentabilidad económica.

Las ciudades son directamente responsables de las dos terceras partes del consumo final de energía del mundo, así como del 75 % de las emisiones globales de dióxido de carbono. [23] Además, estas concentran el 55 % de la población mundial y el 80 % del producto interior bruto mundial. Por lo tanto, el cambio a la energía renovable en las ciudades es esencial para descarbonizar el sistema energético global. [24] Entre las energías renovables, la energía solar fotovoltaica es especialmente adecuada para el medio ambiente urbano. De hecho, las ciudades representan áreas con un alto consumo de energía. En estas zonas, se podrían utilizar muchas superficies con el objetivo de generar energía solar. [25] [26]

España tenía una de las normativas de autoconsumo fotovoltaico (PVSC) más restrictivas del mundo entre 2015 y 2018. Esta normativa impidió la viabilidad económica de las instalaciones de autoconsumo al descuidar cualquier remuneración por el excedente de electricidad exportado a la red para los consumidores residenciales, por una parte, y al fijar una carga de respaldo sobre la electricidad auto consumida para los segmentos comercial e industrial, por otra. [27]

Las políticas climáticas europeas reconocen el papel que las comunidades energéticas pueden desempeñar en la transición energética. Las instalaciones de autoconsumo compartidas entre quienes viven en el mismo edificio son un buen ejemplo de estas comunidades energéticas. El correcto dimensionamiento de las instalaciones conlleva ahorros económicos para los consumidores independientes en todo el territorio, tanto para opciones con y sin compensación por excedentes de energía. Existen diferentes estudios que sostienen que la instalación de baterías todavía requiere de reducciones de costes para que sean rentables. Además, los mecanismos de compensación de la energía excedentaria, hacen que las baterías sean menos atractivas en escenarios de bajos costos fotovoltaicos.

Las comunidades energéticas son clave para hacer frente al desafío del cambio climático, ya que tienen diferentes ventajas, tales como; el aumento del uso de fuentes de energía renovables en el suministro de electricidad, conduce a reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero, la generación local reduce las pérdidas de energía, al tiempo que reduce las inversiones futuras en infraestructura de transmisión y distribución, el aumento del autoconsumo implica recursos adicionales provenientes principalmente de los consumidores, lo que ayuda a diversificar las inversiones

centralizadas en energía y también aumenta el número de actores que comparten los beneficios asociados a la actividad de generación de electricidad, históricamente concentrada en un número reducido de grandes empresas. [28]

Las comunidades energéticas, facilitan la participación de los diferentes sectores de la sociedad sobre la cadena de valor de la energía. En cuanto a la definición de que es una comunidad energética, la legislación europea tiene una definición propuesta en el 2016 y otra del 2019 que todavía no está completamente aprobada.

La Directiva Europea COM (2016) 864: sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad, tiene la siguiente definición:

"Comunidad Energética Local: una asociación, cooperativa, sociedad, organización sin ánimo de lucro u otra entidad jurídica que esté controlada por accionistas o miembros locales, generalmente orientada al valor más que a la rentabilidad, dedicada a la generación distribuida y a la realización de actividades de un gestor de red de distribución, suministrador o agregador a nivel local, incluso a escala transfronteriza". [29]

En esta definición, se le da importancia a los aspectos de creación de valor en términos sociales y medioambientales, pero deja de lado el posible beneficio económico que la actividad pueda tener en la sociedad. Se busca también aumentar la participación de los consumidores en la toma de decisiones.

El texto en vías de aprobación, acordado entre Consejo y Parlamento (5076/19), mantiene una definición parecida a la del 2016, pero introduce algunos cambios: [30]

"Comunidad ciudadana de energía: una entidad jurídica de participación voluntaria y abierta que esté efectivamente controlada por accionistas o miembros que sean personas físicas, autoridades locales, incluidos los municipios, o pequeñas empresas, cuyo objetivo principal sea ofrecer beneficios medioambientales, económicos o sociales a sus miembros o a la localidad en la que desarrolla su actividad, más que generar una rentabilidad financiera. Una comunidad ciudadana de energía puede participar en la generación, incluida la energía procedente de fuentes renovables, la distribución, el suministro, el consumo, la agregación, el almacenamiento de energía, la prestación de servicios de eficiencia energética, la prestación de servicios de recarga para vehículos eléctricos o de otros servicios energéticos a sus accionistas o miembros." [31]

En esta segunda definición, en comparación con la del 2016, se mencionan el almacenamiento, los servicios de eficiencia energética y la recarga para los vehículos.

Además, la directiva (UE) 2018/2001 garantiza los siguientes aspectos:

- Los estados miembros garantizan que los consumidores finales que participen en una comunidad de energías renovables mantengan sus derechos y obligaciones como consumidores.
- Los estados miembros garantizan que las comunidades de energías renovables tengan derecho a:
 - Consumir, producir, almacenar o vender energía, teniendo para ello contratos de compra de electricidad
 - Compartir la energía generada dentro de la comunidad, siempre y cuando se respete la normativa vigente
 - Acceder a los mercados de la energía

- Análisis y evaluación del potencial y obstáculos para el desarrollo de las comunidades energéticas.
- Un marco facilitador para fomentar y facilitar el desarrollo de las comunidades energéticas mediante energías renovables. Para ello:
 - Se eliminarán los obstáculos administrativos y reglamentarios injustificados
 - El gestor de la red de distribución, colaborará con las comunidades energéticas con el fin de facilitar la transferencia de energía
 - Las comunidades energéticas estarán sujetas a procedimientos justos, en cuanto a legislación corresponde
 - Las comunidades energéticas no recibirán un trato discriminatorio, y se asegurarán sus derechos y obligaciones
 - La participación en las comunidades energéticas será accesible para todos los consumidores
 - Se facilitarán instrumentos de financiación

Mediante las comunidades energéticas y una generación distribuida, se pasará del sistema eléctrico centralizado que existe hoy en día a un sistema eléctrico descentralizado, como el que puede verse en la *figura 11*:

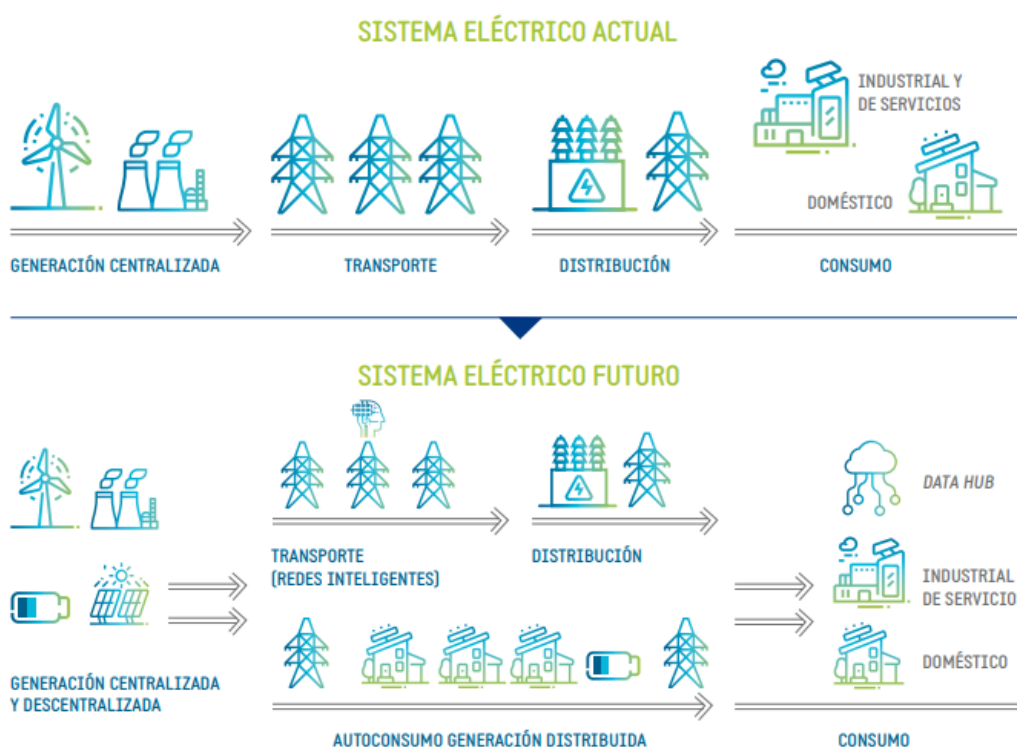


Figura 11. Sistema eléctrico actual y sistema eléctrico futuro [32]

5.5.1 Barreras para la creación de comunidades energéticas

A pesar de existir una normativa europea para impulsar la creación de comunidades energéticas con el fin de cambiar el paradigma energético, existen diferentes barreras que dificultan la creación de las comunidades energéticas locales:

- Cambios normativos y reducción de los incentivos
- Ausencia de un marco normativo específico
- Procedimientos administrativos cambiantes
- Dificultad para obtener financiación
- Existencia de un monopolio que controla las redes de distribución
- Falta de conocimiento por parte de la ciudadanía
- Falta de interés o tiempo para la dedicación voluntaria
- Desmotivación y falta de acuerdo de los miembros de la comunidad
- Falta de conocimiento experto o dificultad a su acceso

5.5.2 Modelos de propiedad de las comunidades energéticas

Existen diferentes tipos de modelos de las comunidades energéticas, y la siguiente tabla del IDAE las resume todas, explicando las fortalezas y las debilidades de cada una de ellas:

Tabla I Modelos de propiedad ^[31]

Tipo de modelo	Fortalezas	Debilidades
Cooperativo (Empresa social propiedad de la comunidad)	Las cooperativas son voluntarias y democráticas (típicamente un miembro=un voto). Se pueden cumplir objetivos económicos, sociales y culturales comunes.	Conseguir suficiente capital puede ser complicado. Falta de familiaridad con las energías renovables y habilidades/conocimientos técnicos
Modelo híbrido comunidad/gobierno local	Las autoridades locales pueden ayudar a reducir el riesgo de la inversión inicial en proyectos, otorgar subvenciones y colaborar en ofertas de financiamiento externo. Las autoridades locales pueden proporcionar apoyo práctico de planificación y compartir tierras públicas	Las autoridades locales varían en términos de su comprensión de los beneficios de la energía de la comunidad. Aplicación inconsistente de las reglas de planificación y consentimiento en diferentes autoridades locales.
Modelo híbrido comunidad/privado	Aumenta la aceptación por parte de la comunidad de instalaciones a mayor escala, que ofrecen un potencial para obtener fuertes retornos de inversión. Las organizaciones comunitarias se benefician de las habilidades y la inversión de los desarrolladores comerciales	Diferencias culturales y operativas entre organizaciones comunitarias y comerciales. Barreras de comunicación por falta de comprensión y transparencia.

Propiedad segregada	Soporta múltiples propietarios de un desarrollo de energías renovables de la comunidad en un solo sitio, donde una organización comunitaria posee una parte del desarrollo. Otras partes de la instalación de energía renovable pueden ser propiedad de un desarrollador comercial, una empresa de servicios públicos, un productor de energía independiente o un fondo de inversión.	La organización comunitaria todavía necesita recaudar fondos para construir o comprar parte del desarrollo de energía renovable. Organización comunitaria responsable de la operación, monitoreo y mantenimiento de sus equipos.
---------------------	--	---

5.5.3 Contadores inteligentes

En las comunidades energéticas o en las instalaciones de autoconsumo, son necesarios los contadores de consumo inteligentes (Smart Meters), para poder realizar la comunicación de dos vías entre el consumidor y el gestor de la red. Es decir, sirven tanto para gestionar la información de la energía enviada a la red como la consumida de la red. Los contadores inteligentes tienen la capacidad de leer datos remotamente para mostrarlos dentro de un dispositivo o ser transmitidos al exterior de forma segura.

Los contadores inteligentes se colocan entre la instalación interior del consumidor y la acometida de red de distribución, es decir, en el punto frontera del suministro.

El contador trabaja con la información de los consumos a tiempo real, grabando los movimientos de salida y entrada de energía, para poder realizar la compensación económica al final de cada periodo computable.

Según las disposiciones vigentes, en el estado español, los contadores eléctricos deberían de ser inteligentes a partir del 2018. Este cambio, le corresponde a la empresa distribuidora, y no al cliente.

5.5.4 Blockchain

El contrato digital que permite a una parte individual realizar y facturar una transacción directamente con otra parte se le llama cadena de bloques. Una venta de electricidad punto a punto, es denominada como "peer to peer". Esto significa que todos los movimientos que se realicen, quedarán guardados en una red de ordenadores.

Toda la información se distribuye por la red, pero es almacenada de modo local en las computadoras de todos los participantes, por lo que los intermediarios tradicionales no son necesarios, ya que los demás participantes en la red pueden verificar las transacciones que se realizan entre el cliente y el proveedor. Para gestionar esto, está empleándose el modelo blockchain en primeras experiencias de comunidades energéticas.

La tecnología blockchain ha demostrado que sus aplicaciones ya no están restringidas a las criptomonedas. Ejemplo de esto es que dicha tecnología se está probando e implementando en campos económicos o en el sector de la energía. Existen diferentes experiencias al respecto, tales como las de enero de 2018 en las que Thomas Boersma y Tom van Dorp entrevistaron a más de 90 empresas y proyectos que utilizaban blockchain

para el sector de la energía. [33] La mayoría de estos proyectos fueron creados a partir de 2016 con el objetivo de abordar el comercio energético de igual a igual, es decir “peer to peer” como se ha mencionado anteriormente.

Ejemplo de ello es Ethereum que cuenta con el apoyo de cientos de ingenieros, ofreciendo una comunidad fuerte y activa a lo largo de todo el mundo. Ethereum puede contar con AMD, Microsoft, BP Energy, Cisco, Intel e ING entre otros, con el objetivo de dar apoyo financiero y técnico. Hyperledger es otro conjunto de proyectos de blockchain fuertemente activo. Alojado por Linux Foundation, la comunidad Hyperledger ha desarrollado varios proyectos de blockchain como Fabric, Sawtooth o Iroha, con la contribución de IBM, Airbus, Cisco, Interl, Bosch, Oracle o Samsung entre otros.

Las mediciones de energía realizadas por el medidor inteligente se integran en un bloque específico a través de módulos IOT en intervalos de tiempo definidos. El procesamiento de estos datos requiere el uso de tecnologías específicas para transmitir la información a la nube con un alto nivel de seguridad y confianza. Estos datos están firmados criptográficamente y protegidos por la tecnología blockchain.

Los programas autónomos y de confianza que se ejecutan en el blockchain calculan la asignación adecuada de la energía producida entre los participantes de acuerdo con las reglas anteriormente consagradas en el blockchain. Al hacerlo, el uso compartido está protegido, certificado por el consenso de la cadena de bloques y es auditable. Este intercambio refleja las relaciones y acuerdos entre los participantes. Para ello hay que cumplir con los siguientes requerimientos:

- Seguridad y confianza: los datos de consumo y producción de cada participante han de ser a prueba de manipulación.
- Confidencialidad: las mediciones de energía son datos personales, por lo que el almacenamiento debe ser seguro y conforme a la normativa vigente.
- Fiabilidad e integridad de los datos: se da a entender que los participantes no confían entre ellos, por lo que los datos tienen que ser tratados lo más adecuadamente posible.
- Robustez y resistencia: con el objetivo de proporcionar calidad al servicio
- Auditabilidad: cada participante podrá verificar y certificar que la asignación de energía se ha realizado correctamente
- Rendimiento
- Solubilidad del sistema: con el objetivo de adaptarse a diferentes casos tales como contadores diferentes, diversos usos...
- Escalabilidad: para adaptarse a diferentes tamaños de comunidades energéticas y a diferentes pasos de tiempo.

En la siguiente figura puede verse el ejemplo de un esquema de comunidad energética desde la producción hasta los consumidores, en la que se muestra el papel del sistema blockchain:

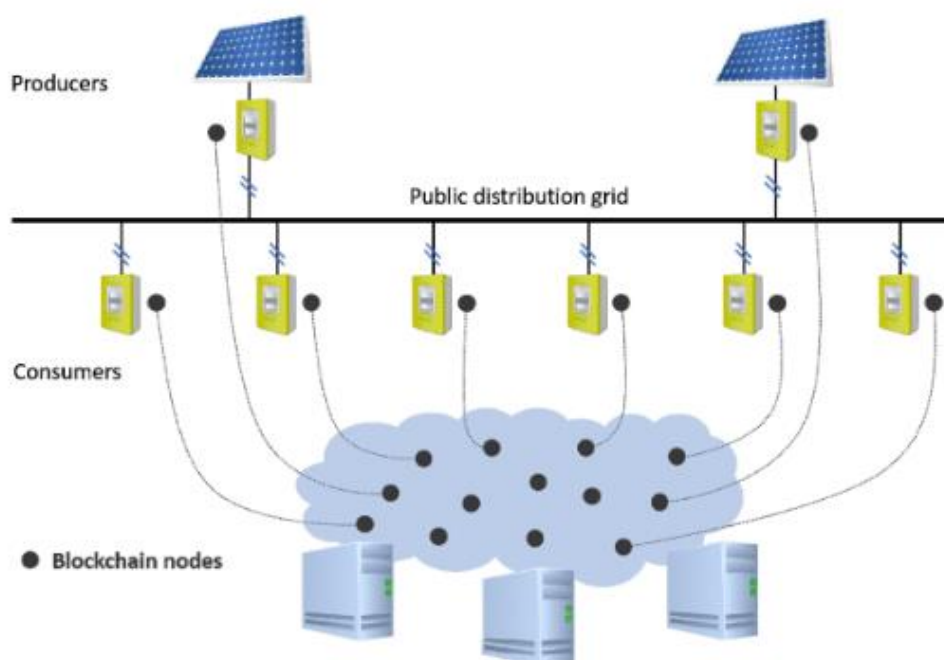


Figura 12. Blockchain para el autoconsumo distribuido [34]

5.5.5 Retos de las comunidades energéticas

Con el objetivo de que las comunidades energéticas aporten una exitosa contribución a la transición energética, a los ciudadanos y a la sociedad, se identifican los siguientes retos:

- Sustituir consumidores pasivos por consumidores activos, es decir, que tomen parte en la cadena de valor del abastecimiento energético
- Evitar imposiciones y contradicciones
- Aplicación de mecanismos de incentivo y apoyo adecuados
- Instrumentos de fácil aplicación o acceso para las comunidades que no tengan altos recursos
- Crear un marco legal coherente, sin contradicciones y con una normativa consecuente
- Transparencia y accesibilidad a los datos, para disponer de la información sobre los consumos en tiempo real
- Control de la distribución eléctrica
- Activar la financiación privada
- Involucrar empresas de servicios energéticos
- Promover los modelos colaborativos entre la administración privada y la pública
- Sumar beneficios económicos de diferentes procedimientos con el objetivo de reducir peajes, reducción del término de potencia...
- Búsqueda de mecanismos para fomentar la rehabilitación energética
- Definir una hoja de ruta para la creación de las comunidades energéticas

5.5.6 Ejemplos de comunidades energéticas

A continuación, se muestran diferentes ejemplos de comunidades energéticas:

5.5.6.1 Lasierra, Álava

Lasierra es la primera comunidad solar de Euskadi. En octubre de 2020 se realizó una instalación solar en Álava, con el fin de crear una comunidad energética solar.

Lasierra es una comunidad situada en Ribera Alta y que cuenta con 12 habitantes. En esta localidad se encuentra la bomba que extrae el agua del subsuelo para almacenarla en un depósito y así poder abastecer a diferentes pueblos de la comarca. Esta instalación necesita una gran cantidad de energía. A esta demanda de energía se le suma la energía necesaria para abastecer las necesidades de los habitantes, el Ayuntamiento, el espacio cultural y el alumbrado público. [35]

El proyecto lo conforman el Consorcio de aguas Mendi Haran, la Junta Administrativa de Lasierra, los habitantes de Lasierra y el espacio de creación cultural junto con el alojamiento turístico Azala. Los objetivos del proyecto han sido los de dotar al pueblo de un sistema fotovoltaico que genere electricidad para por un lado sacar agua del acuífero y por otro para el alumbrado, el Ayuntamiento, la Iglesia y los habitantes. Con esto consiguen autoabastecerse de energía de origen renovable.

La instalación consta de 76 paneles fotovoltaicos con una potencia de 30 kW situados en el centro de bombeo de agua. Con un coste económico de 39.000 €, la instalación ha tenido financiación del EVE (Ente Vasco de la Energía) [36], Diputación Foral de Álava [37], programa LEADER [38], aportaciones vecinales, aportaciones del Consorcio de Aguas Mendiaran, aportaciones del espacio Azala.

Los paneles cumplen doble función ya que, además de generar electricidad, sirven como marquesinas para resguardar los coches del sol en verano, como puede verse en la siguiente imagen:



Figura 13. Marquesinas solares de Lasierra [39]

Como trabajo futuro para este proyecto, se pretenden instalar 2 puntos de recarga eléctrica para vehículos.

Con este proyecto se ha conseguido evitar la emisión de 12 toneladas de CO₂, lo que equivale al CO₂ captado por un bosque de 108 hayas durante 80 años. Además, contribuye al desarrollo de la Agenda 2030, ya que impulsa los objetivos 6 y 7; agua limpia y saneamiento, y energía asequible y no contaminante. En la *figura 14* se pueden ver los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), marcados en la Agenda 2030:



Figura 14. Objetivos de Desarrollo Sostenible [40]

En este proyecto se han identificado tantos puntos fuertes como puntos débiles. Entre los puntos fuertes de la práctica se identifican los siguientes:

- Es un proyecto piloto, que tiene como objetivo ser ejemplo de siguientes proyectos
- Le da valor a la comunidad
- Se le da valor a lo público, ya que la propietaria de la instalación será la Junta Administrativa
- Si hubiese beneficio, este se revertiría en la comunidad

Entre los puntos débiles de identifican los siguientes:

- Al estar la legislación sin desarrollar, es un proyecto que de punta de lanza
- Dificultad para convencer a toda la comunidad, sin emplear el único argumento del ahorro energético

5.5.6.2 Esparza de Galar, Navarra

Esparza de Galar, un pueblo navarro de 321 habitantes, ha creado una comunidad energética para 40 participantes. La instalación se ha situado en la cubierta del frontón, y consta de una potencia instalada de 17,82 kW, tiene prevista una producción de 25.588 kWh/año, y ha supuesto una inversión de 30.863,76 €. Con esta instalación se prevé evitar la emisión de 15,4 toneladas de CO₂, equivalente al que captarían 138 hayas durante 80 años. [41]

5.6 Coeficientes de reparto dinámicos

Con el fin de repartir la energía generada en la instalación de producción entre los participantes en la modalidad de autoconsumo colectivo, se establecen diversas definiciones. En una de ellas, se menciona que los participantes en el autoconsumo colectivo tienen la obligación de firmar y comunicar un mismo acuerdo firmado por los participantes, donde se recojan los criterios de reparto de la energía generada.

Sin embargo, con el objetivo de simplificar la norma, el Real Decreto 244/2015, de 5 de abril, establece en su Anexo I que "en todo caso, estos coeficientes deberán tener valores fijos para todas las horas de un periodo de facturación". [7]

El sector fotovoltaico criticó el carácter fijo de los coeficientes de reparto, ya que suponían un freno al autoconsumo colectivo tanto en comunidades de propietarios como para las comunidades de consumo industriales. Las críticas se dan ya que se genera mucha energía en determinadas franjas horarias que, en vez de beneficiarse de las ventajas del autoconsumo, se tratan como energía excedentaria, por lo que se vierte a la red, teniendo que pagar peajes y cargos al sistema. [42]

No obstante, el Real Decreto 244/2015, previó en su disposición final quinta, la posibilidad de implementar coeficientes dinámicos de reparto, con el objetivo de aprovechar mejor las iniciativas de autoconsumo.

Respecto a esto, se ha publicado el Proyecto de Orden mediante la que se modifica el Anexo I del Real Decreto 244/2019, con la implantación de coeficientes dinámicos de reparto en autoconsumo colectivo. En él se habilita la posibilidad de establecer coeficientes de reparto variables para cada una de las horas del año, al mismo tiempo que se mantiene la posibilidad de tener coeficientes fijos.

Siguiendo la Orden, el valor de los coeficientes de reparto podrá ser diferente cada una de las horas del periodo de facturación, y podrá modificarse con una periodicidad no inferior a un año. Contar con coeficientes de reparto dinámico implica que el reparto de la energía horaria neta generada individualizada de cada sujeto pueda adaptarse y variar en función de las necesidades energéticas que tenga cada consumidor. [43]

5.6.1 Autoconsumo colectivo francés

En el caso del autoconsumo colectivo francés (ACC), los coeficientes de reparto si pueden ser dinámicos. El principio de autoconsumo colectivo se introdujo en la legislación francesa en el 2016 y está definido en el artículo L.315-2 del Código de la Energía.

En el corto plazo en el que el principio de autoconsumo está implantado en la legislación francesa, el número de autoconsumos colectivos se han duplicado, llegando a ser 45.000 en el año 2019. Por definición, el autoconsumo colectivo francés es el reparto de la producción local de energía directamente con consumidores a través de la red pública de distribución. Pueden existir diferentes productores y consumidores, dentro de un área de 2 km, y el tipo de energía puede ser cualquiera, siempre que no supere los 3 MW de potencia pico instalada. En el caso de la planta de generación, podrá ser propiedad de los consumidores o de una tercera persona, que será la encargada de vender la electricidad a los consumidores.

En la siguiente imagen puede verse el esquema de las instalaciones de autoconsumo y la producción de energía descentralizada, y como están estas conectadas al sistema de producción de energía centralizado:



Figura 15. Instalaciones autoconsumo francés [44]

Para el caso francés, los principios de autoconsumo colectivo son los siguientes:

- **Clave de distribución fija:** cada uno de los consumidores tendrá asociado un coeficiente estático que podrá variar dependiendo de la inversión realizada, del espacio que tenga la vivienda o del consumo teórico de los participantes
- **Clave dinámica predeterminada:** en proporción al consumo real de cada consumidor se calculará la clave para cada paso de tiempo
- **Clave dinámica por fórmula de cálculo:** está permitido distribuir la producción y los excedentes entre los consumidores con coeficientes de reparto dinámicos definidos cada 30 minutos.

El esquema del autoconsumo es el siguiente:

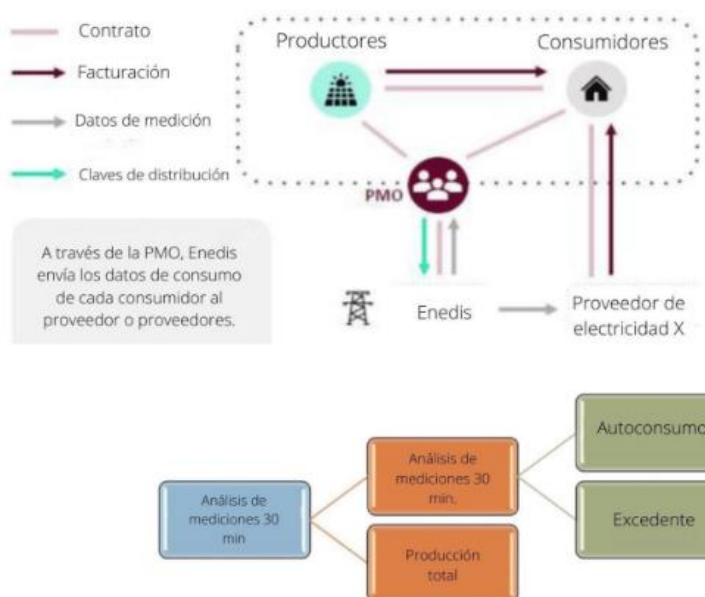


Figura 16. Esquema autoconsumo francés [44]

El excedente generado podrá venderse directamente en el mercado o a un proveedor de electricidad. En el caso de venderlo a un proveedor, será necesario tener un contrato con este, para mantener el equilibrio de la red. En cuanto al precio, no hay un precio de compra fijado, pero como ejemplo, la empresa Enercoop compra los excedentes a un precio de 0.06 €.

Para tramitar la facturación, la información se envía a un proveedor, y se aplican impuestos para los kWh autoconsumidos (TURPE, TCFE, IVA).

Tomando esta información como referencia, se pueden comparar la normativa de las instalaciones de autoconsumo español y francés. Para ello, los datos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla II Comparación normativa de autoconsumo en España y Francia [44]

	España	Francia
Potencia	Ilimitada	Máximo 3 MW
Rango	0.5 km entre contadores de generación y consumo, misma subestación o mismo registro catastral	2 km en donde se incluyen la instalación y los consumidores
Frecuencias de medición	1 hora	30 minutos
Distribución A. Colectivo	Estática	Estática y dinámica
Excedentes	Venta directa Compensación <100 kW	Venta directa en el pool o al distribuidor

5.7 Posición del sol

Este apartado tiene como objetivo definir el proceso de obtención de la radiación que incide en un panel, partiendo de la posición solar y de la radiación horizontal que este ofrece.

El ángulo de azimut y el ángulo de elevación, son los principales ángulos que se emplean para orientar los módulos fotovoltaicos. Sin embargo, si se quiere calcular la posición del sol durante todo el día, será necesario calcular el ángulo de azimut y el de elevación durante todo el día también. [45]

Ángulo de azimut o ángulo acimutal (Θ): según la definición dada por el Dr. Javier Mazón en los apuntes de la asignatura Generación Solar "es el ángulo formado por la proyección sobre la superficie horizontal del lugar, de la recta sol-Tierra, con respecto a la recta Norte-Sur terrestre. En el hemisferio norte se mide hacia el Sur y es positivo hacia el Oeste, siendo todo lo contrario para el hemisferio sur". [46] Puede verse en la figura 17:

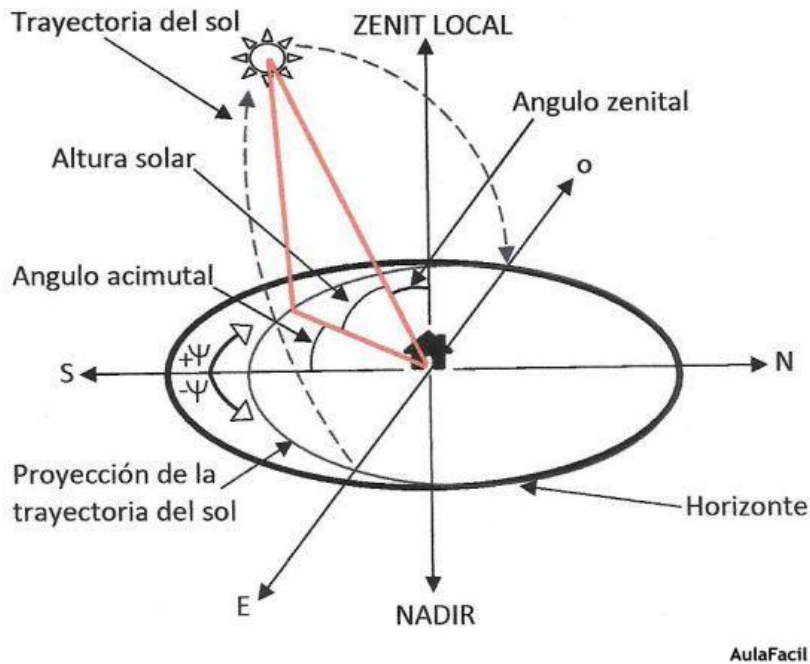


Figura 17. Ángulo de acimut [47]

Ángulo de elevación (α): es la altura angular del sol en el cielo medida desde la horizontal. Como parámetro importante en el diseño de sistemas fotovoltaicos, está el ángulo máximo de elevación, lo que hace referencia a la altura máxima del sol en el cielo, pero en un momento determinado del año. El ángulo máximo de elevación depende del ángulo de latitud y declinación, produciéndose este al mediodía solar. Esto puede verse en la figura 17.

Para calcular estos ángulos, se emplea el denominado "Tiempo Solar", ya que las regiones de la Tierra se dividen en diferentes zonas horarias, donde el mediodía no tiene por qué coincidir con el momento en el que el sol está en su punto más alto. Sucede lo mismo con la subida del sol, ya que esta se define como la etapa en la que el sol sube para esconderse, en una zona horaria, pero no en todas. Siendo esto así, la hora en la que el sol despeja el horizonte en una parte concreta de la zona horaria, puede no serlo en otra. Por ello, el tiempo solar es único para cada longitud particular.

Hora local estándar del meridiano, LSTM (Local Standard Time Meridian): se basa en el paso del Sol por el meridiano del lugar donde se está haciendo la medición, y cambia según el cambio de la longitud. Para calcular la hora local estándar del meridiano, se emplea la siguiente ecuación:

$$LSTM = 15^\circ \cdot \Delta T_{GMT}$$

dónde:

ΔT_{GMT} es la diferencia de la hora local (LT) de Greenwich Tiempo medio (GMT) en horas

Ecuación del tiempo, E_oT (en minutos): es una ecuación que corrige la excentricidad de la órbita de la Tierra y la inclinación del eje de la Tierra. Para calcular la ecuación del tiempo, se emplea la siguiente ecuación:

$$E_oT = 9.87\sin(2B) - 7.53\cos(B) - 1.5\sin(B)$$

dónde:

B se consigue en grados y d es el número de días que han pasado desde el principio del año.

$$B = \frac{360}{365}(d - 81)$$

Factor de corrección de tiempo neto, TC (en minutos): sirve para definir la variación del tiempo solar local, dentro de una zona de tiempo dado. Esto sucede por las variaciones de longitud dentro de la zona horaria y tiene en cuenta la ecuación del tiempo definida anteriormente. Para calcular el factor de corrección de tiempo neto, se emplea la siguiente ecuación:

$$TC = 4(Longitude - LSTM) + E_oT$$

dónde:

4 es el factor de corrección que se utiliza, ya que la Tierra gira 1° cada 4 minutos

Tiempo solar local, LST: se emplea para corregir la hora local (LT). Para ello se emplean las correcciones definidas anteriormente. Para calcular el tiempo solar local, se emplea la siguiente ecuación:

$$LST = LT + \frac{TC}{60}$$

Ángulo horario, HRA: convierte el tiempo solar local en los grados que el sol se mueve en el cielo. Se toma como 0° el ángulo horario al mediodía solar. Al girar la Tierra 15° en una hora, cada hora del mediodía solar se corresponde a un movimiento angular del sol de 15°. Siendo esto así, por la mañana el ángulo horario se toma como negativo, y por las tardes como positivo. Para calcular el ángulo horario, se emplea la siguiente ecuación:

$$HRA = 15^\circ(LST - 12)$$

Ángulo de declinación, δ: es el ángulo que los rayos del Sol forman con el plano del Ecuador en un momento concreto. Para calcular el ángulo de declinación, se emplea la siguiente ecuación:

$$\delta = 23.45^\circ\sin\left[\frac{360}{365}(d - 81)\right]$$

Para calcular el ángulo de elevación, se emplea la siguiente ecuación:

$$\alpha = \sin^{-1}[\sin\delta\sin\varphi + \cos\delta\cos\varphi\cos(HRA)]$$

dónde:

φ es la latitud del lugar en radianes

Para calcular el ángulo de acimut, se emplea la siguiente ecuación:

$$\theta = \cos^{-1} \left[\frac{\sin \delta \cos \varphi - \cos \delta \sin \varphi \cos(HRA)}{\cos \alpha} \right]$$

Partiendo de la radiación horizontal, se calcula la radiación incidente. Para ello se emplea la siguiente ecuación:

$$S_{incidente} = \frac{S_{horizontal}}{\sin \alpha}$$

Después de calcular la radiación incidente, se calcula la radiación que le llega al módulo. Para ello se emplea la siguiente ecuación:

$$S_{módulo} = S_{incidente} [\cos(\alpha) \sin(\beta) \cos(\psi - \theta) + \sin(\alpha) \cos(\beta)]$$

dónde:

β es el ángulo de inclinación del módulo

ψ es el ángulo de acimut al que el módulo se enfrenta. Los módulos generalmente se orientan al ecuador, por lo que un módulo en el hemisferio norte tendrá $\psi = 180^\circ$.

Con esto, se consigue la radiación que llega al módulo. Si se tiene en cuenta la potencia de la instalación y las pérdidas, se consigue la energía que se podrá obtener en un emplazamiento concreto.

METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO

6 ANTECEDENTES

A la hora de diseñar una instalación fotovoltaica, son muchos los aspectos que hay que tener en cuenta; potencia de la instalación, histórico de consumos, emplazamiento de la instalación, acimut, inclinación, rendimientos, tipos de paneles fotovoltaicos, sombras... Tradicionalmente, se ha calculado por un lado el consumo mensual de una vivienda, y, por otro lado, la posible energía que durante un mes dicho emplazamiento podría generar, con el objetivo de dimensionar la instalación.

Sin embargo, está demostrado que haciendo únicamente esto no se consiguen buenos resultados, ya que en los sistemas sin almacenamiento por baterías hay que conseguir que se consuma la energía en el momento de su producción, y el análisis anteriormente citado no sirve para ello.

Para garantizar que una instalación se dimensiona acorde a las necesidades del consumidor, es conveniente realizar un análisis de los consumos históricos hora a hora y la posible producción hora a hora, con el objetivo de ajustar la instalación lo máximo posible.

7 DESCRIPCIÓN GENERAL

Con el objetivo de ajustar la instalación de generación lo máximo posible, en este estudio se han realizado principalmente dos trabajos; por un lado, se ha desarrollado un conjunto de programas con la herramienta Matlab, y, por otro lado, se han realizado diferentes análisis de comunidades energéticas situadas en Zaldondo, para diferentes casos, empleando dichos programas.

El conjunto de programas, automatiza entre otros, los cálculos de autoconsumos, autosuficiencias, payback, coste de instalación, VAN y TIR, utilizando los datos de los consumos históricos hora a hora de la instalación a realizar y los datos de las radiaciones horizontales del lugar. El conjunto de programas y el funcionamiento de cada uno de los apartados de estos se detallarán más adelante.

Con estos programas, se han estudiado diferentes casos prácticos de posibles instalaciones de comunidades energéticas, con el objetivo de obtener información relativa a las diferencias que suponen los cambios de tamaño de la instalación, el acimut, la inclinación, los coeficientes de reparto y los coeficientes de inversión.

8 METODOLOGÍA DEL TRABAJO

Para realizar los diferentes análisis y las variantes posibles en una instalación de autoconsumo compartido, en este caso se ha utilizado la herramienta Matlab. Generalmente, los estudios relacionados con instalaciones fotovoltaicas se realizan

partiendo de programas como PVsyst o PVGIS, los cuales ofrecen los posibles datos de generación mes a mes en el emplazamiento que se haya seleccionado. Sin embargo, en este caso no se ha usado ninguno de estos dos programas y se ha optado por programar todo en Matlab, partiendo de los datos de las radiaciones horizontales que ofrece Euskalmet, la agencia de meteorología vasca.

Esto ha sido así con el objetivo de tener todo el proceso en un solo lugar, sirviendo el programa para analizar cualquier caso, solo con cambiar los datos de entrada, que son la radiación horizontal del lugar y el histórico de consumos del lugar.

Como aporte de este trabajo, por lo tanto, cabe destacar la creación de un conjunto de programas en Matlab, conectados entre sí, capaces de analizar las variables de una instalación fotovoltaica de autoconsumo, que sirve para diferentes casos con solo cambiar los datos de entrada.

Además del programa, y no menos importante, reflejar el estudio que se muestra más adelante, de diferentes opciones de instalaciones de autoconsumo compartido, o también llamadas comunidades energéticas.

9 FUNCIONAMIENTO DEL CONJUNTO DE PROGRAMAS

El conjunto de programas está formado por 6 programas principales, que contemplan diferentes casuísticas, por un programa base que transforma los datos de radiaciones horizontales en los datos de radiación que los paneles son capaces de captar y de subprogramas, con funciones determinadas, en función de los datos que se quieran reflejar en cada momento. Esto se detalla en las *tablas III, IV y V*. Todos estos programas están visibles en el ANEXO 1.

Tabla III Programas principales

Programas principales	
main_1b	Programa con coeficiente de reparto fijo anual
main_2b	Programa con coeficiente de reparto dinámico
main_3b	Programa con inclinación variable
main_4b	Programa con acimut variable
main_5b	Programa con potencia variable
main_6b	Programa con coeficiente de reparto fijo mensual

Tabla IV Programa base

Programa base	
irradiazioaV2	Programa para calcular la radiación que llega al panel solar, partiendo de la radiación horizontal

Tabla V Subprogramas

Subprogramas	
adierzle_ekonomikoakV3	Calcula el payback, el VAN y el TIR
autoconsumo_COEF	Calcula los porcentajes de autoconsumo y autosuficiencia para cada caso estudiado
coeficientes_de_reparto_dinamico	Calcula los coeficientes de reparto dinámicos
coeficientes_de_reparto_fijo_mensual	Calcula los coeficientes de reparto fijo mensuales
coeficientes_de_reparto_fijov2	Calcula los coeficientes de reparto fijo anuales

ekonomikoa_partekatuaV3	Realiza un balance económico, en función de si se está cogiendo energía de la red, o si se está enviando energía a la red
kontsumoeguzkiordura	Realiza el ajuste horario para todo un año
marraztu	Es el encargado de crear los gráficos de salida
reparto_inversion_energiaconsumv2	Reparte la inversión entre los consumidores, en función del consumo anual que cada uno de ellos tenga
energía_optimoV2	Programa para buscar la inclinación y el acimut que más energía den
irradiazioaren_simetria	Realiza el seguimiento de la radiación hora a hora

9.1 Programa base: irradiazioaV2

Como se ha mencionado anteriormente, en este estudio, no se han usado los programas PVsyst ni PVGIS, por lo que todos los datos se han procesado con la herramienta Matlab. Como punto de partida, se ha estructurado el programa base, llamado *irradiazioaV2*, que hace las funciones de PVsyst o PVGIS, es decir, mostrar los datos de generación de una instalación tipo de autoconsumo en un determinado emplazamiento.

Para ello, el programa base, toma como referencia los datos de radiación que se han obtenido mediante Euskalmet. Euskalmet, ofrece datos meteorológicos de sus diferentes bases, como datos meteorológicos, de calidad, de plataformas y de aforo. Esto puede verse en la *figura 18*:

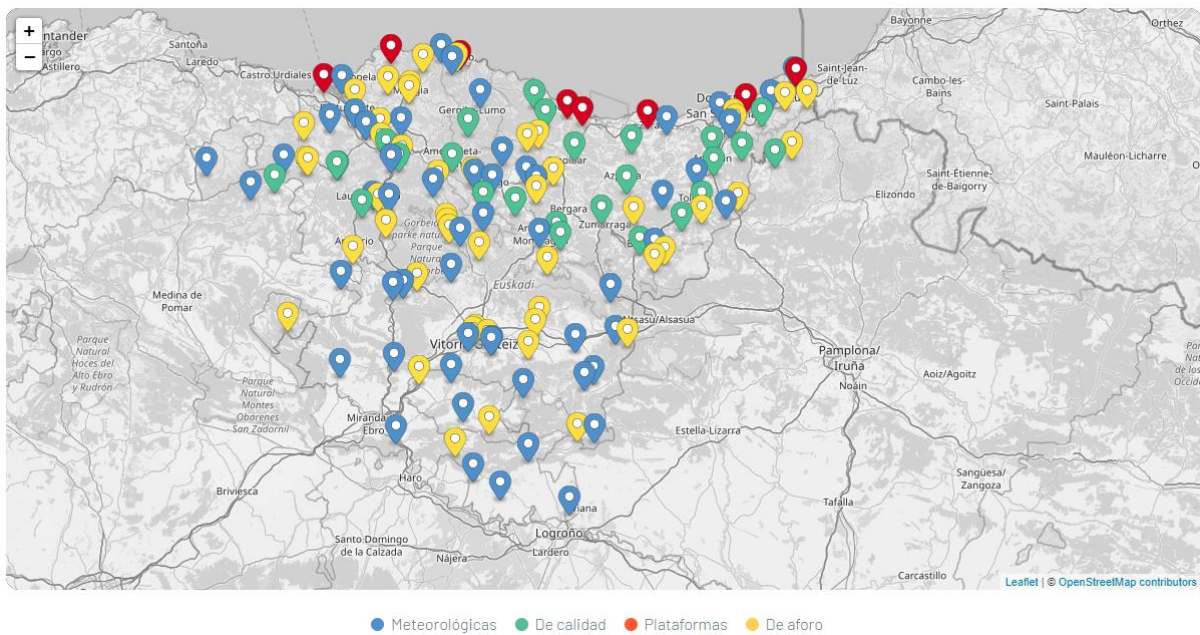


Figura 18. Mapa de las estaciones meteorológicas de Euskalmet [48]

Para este estudio, los datos meteorológicos que se han cogido son los de la base situada en Salvatierra, al ser el emplazamiento con datos más cercano a Zaldondo, pueblo donde se plantearán las comunidades energéticas:

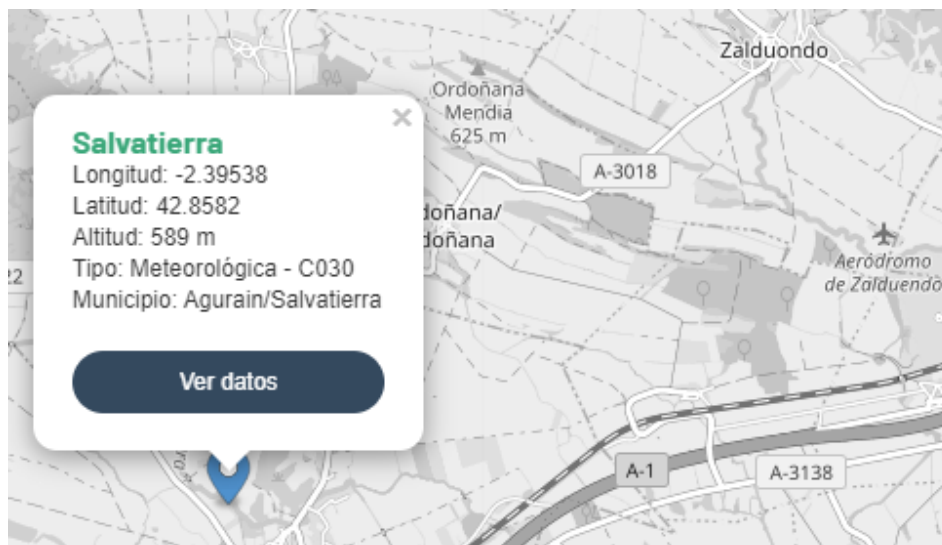


Figura 19. Estación meteorológica de Salviatierra [48]

De la base de Salviatierra al pueblo de Zaldondo apenas hay 10 km de distancia, por lo que los datos pueden extrapolarse para el caso de Zaldondo.

Euskalmet ofrece los datos de irradiación cada 10 minutos, por lo que, lo que se ha hecho, ha sido obtener los datos de todo el año 2020, y se han hecho las medias de cada hora, obteniendo 8784 datos de radiaciones.

Del mismo modo, utilizando la plataforma i-DE del grupo Iberdrola, y la opción que dan los contadores inteligentes, se han obtenido los datos de consumo de los diferentes lugares que más adelante se analizarán:



Figura 20. i-DE Grupo Iberdrola [49]

Con esto, se han analizado por un lado los datos de radiación hora a hora y los datos de consumos hora a hora, pudiendo realizar un análisis lo más completo y detallado posible.

Para configurar las diferentes comunidades energéticas, los edificios o puntos de consumo a analizar, que se sitúan en el pueblo de Zaldondo (Álava) han sido;

- **Ayuntamiento de Zaldondo**

Ayuntamiento que funciona principalmente por las mañanas, con un consumo total de 6805,526 kWh en el año 2020. El ayuntamiento de Zaldondo se muestra en la *figura 21*:



Figura 21. Ayuntamiento de Zaldondo

- **Semáforo**

Semáforo situado en la carretera que cruza el pueblo por la mitad. Es disuasorio, y solo cede el paso a los peatones cuando se pulsa el botón. Consumo total de 644,795 kWh en el año 2020. El semáforo se muestra en la *figura 22*:



Figura 22. Semáforo

- **Korta**

Edificio similar a una ludoteca, con finalidad de ser un lugar cerrado y cálido para que los niños jueguen en invierno. Consumo de 579,682 kWh en el año 2020. La Korta se muestra en la *figura 23*:



Figura 23. Korta

- **Depósito de cloración**

Sirve para clorar el agua que viene del monte, antes de que llegue a los consumidores finales del pueblo de Zaldondo. Consumo de 1258,158 kWh en el año 2020. El depósito de cloración se muestra en la *figura 24*:



Figura 24. Depósito de cloración

- **Albergue para peregrinos**

Albergue remodelado en la antigua ermita situada en el cementerio. Sirve para refugiar a los peregrinos que están de paso. Consumo de 248,567 kWh en el año 2020. El albergue de peregrinos se muestra en la *figura 25*:



Figura 25. Albergue de peregrinos

- **Vivienda 1**

Vivienda unifamiliar que alberga 2 personas entre semana y 4 los fines de semana. Consumo de 2799,654 kWh en el año 2020. La vivienda 1 se muestra en la *figura 26*:



Figura 26. Vivienda 1

- **Vivienda 2**

Vivienda unifamiliar que alberga 2 personas. Consumo de 999,469 kWh en el año 2020. La vivienda 2 se muestra en la *figura 27*:



Figura 27. Vivienda 2

- **Vivienda 3**

Segunda residencia para fines de semana y vacaciones. Consumo de 1379.318 kWh en el año 2020. La vivienda 3 se muestra en la *figura 28*:



Figura 28. Vivienda 3

Con todo esto, se ha creado una matriz que contiene los consumos hora a hora de cada uno de los componentes, una lista de precios de la energía compensada y la energía comprada de la red y los valores de radiación horizontal para el caso de Salvatierra. Todos estos datos, del año 2020, un año con 366 días, lo que equivale a 8784 horas.

Como se ha mencionado anteriormente, en este análisis, se emplearán datos económicos respecto a las tarifas vigentes en el año 2020, por no tener datos actualizados con la nueva tarifa que puedan aplicarse a todo un año. Esta matriz, se ha convertido a formato .m, es decir, un formato soportado por Matlab.

Empleando estos componentes, se plantearán tres posibles comunidades energéticas, que contienen un caso con instalaciones públicas (PUEBLO2020), un caso con instalaciones privadas (VIVIENDAS2020) y un caso con instalaciones públicas y privadas (ZALDUONDO2020). La siguiente tabla resume como está formado cada uno de estos casos, existiendo por tanto 3 matrices para los 3 casos:

Tabla VI Componentes de las comunidades energéticas

Comunidad energética (casos)	Componente
PUEBLO2020	Ayuntamiento de Zalduondo
	Semáforo
	Korta
	Depósito de cloración
	Albergue de peregrinos
VIVIENDAS2020	Vivienda 1
	Vivienda 2
	Vivienda 3
ZALDUONDO2020	Ayuntamiento de Zalduondo
	Semáforo
	Korta
	Depósito de cloración
	Albergue de peregrinos
	Vivienda 1
	Vivienda 2

El programa base *irradiazioaV2* sigue diferentes pasos, con el objetivo de convertir la radiación horizontal, en la radiación que le llega a un panel o modulo solar (S_{module}), dependiendo del acimut, inclinación, latitud, longitud, día del año, declinación y elevación. La explicación detallada del programa base *irradiazioaV2* se encuentra en el ANEXO 2. En la *figura 29* puede verse el fundamento del programa:

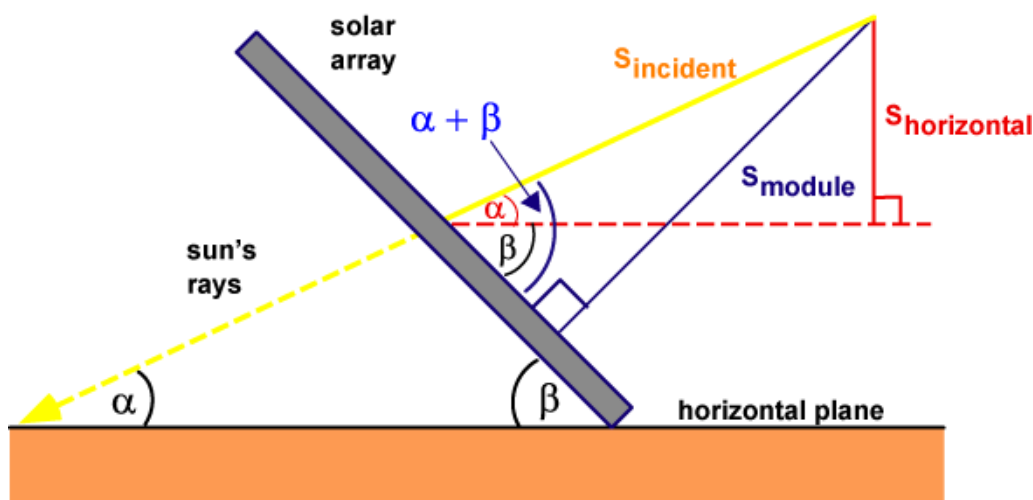
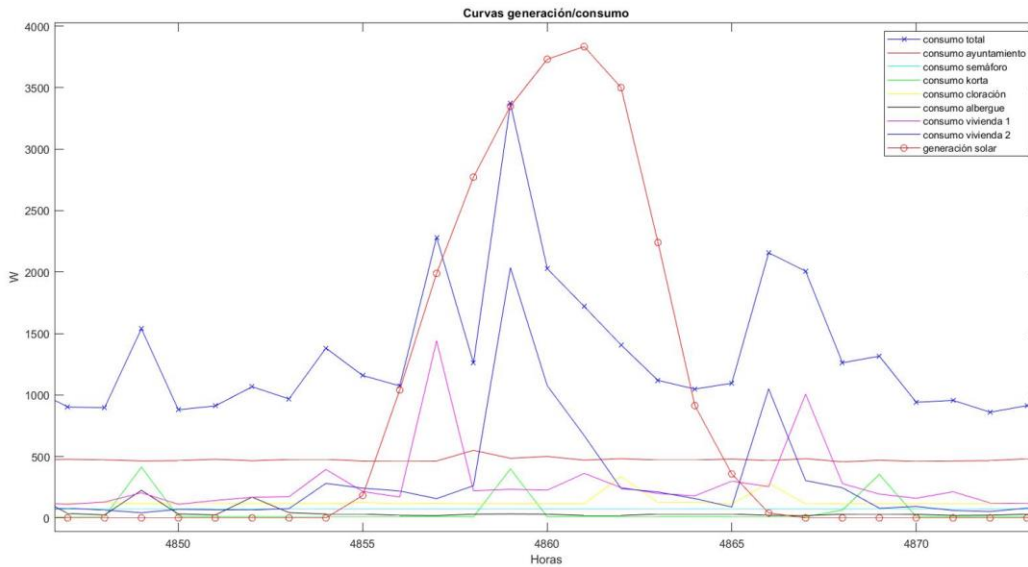


Figura 29. Diferentes radiaciones ^[50]

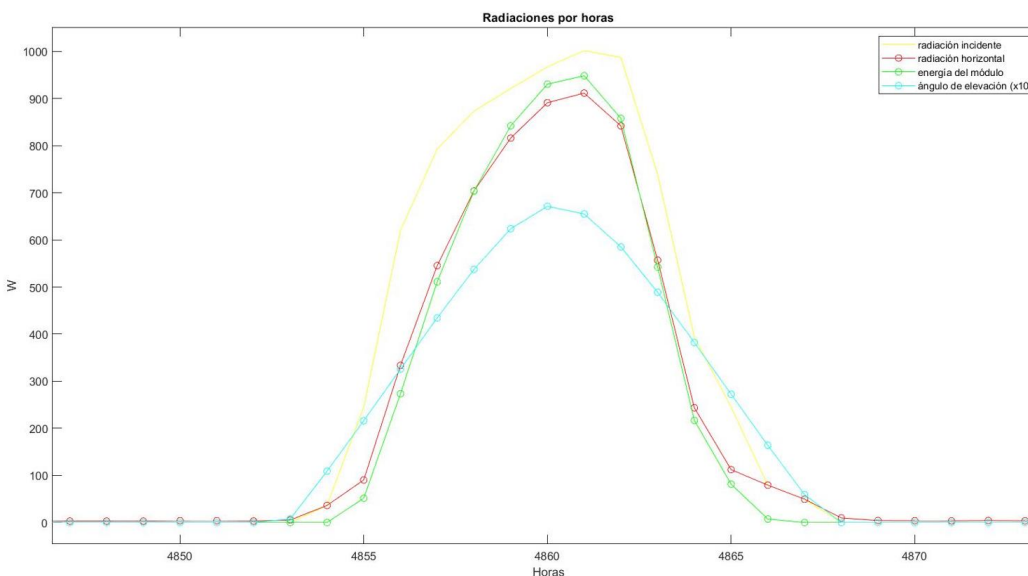
A continuación, se muestran 3 gráficas, ejemplo de lo que se ha visto hasta ahora.

En la *gráfica 12*, se muestra la energía que aporta la instalación dependiendo de la potencia (Wp) de esta, y los consumos de cada uno de los lugares anteriormente mencionados junto con el consumo total. Para el ejemplo, se ha tomado como referencia un caso que se estudiará más adelante, de 7 kW de potencia pico instalada, planteando una comunidad energética formada por el ayuntamiento, el semáforo, la Korta, edificio de cloración, albergue, vivienda 1 y vivienda 2. Estos datos, son concretamente los situados entre las horas 4848 y 4872, es decir, todo el día 202 del año 2020:



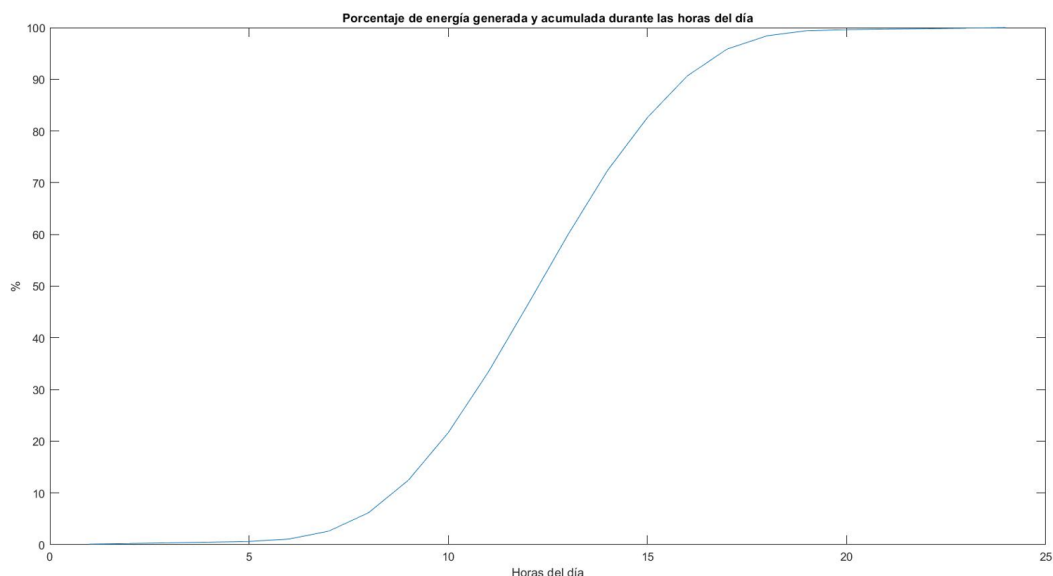
Gráfica 12. Consumos y generación

En la *gráfica 13*, se muestran la radiación horizontal, la incidente y la que llega al módulo, en función del ángulo de elevación. Estos también para las horas 4848 y 4872, es decir, todo el día 202 del año 2020. Además, la gráfica se complementa con el ángulo de elevación, al que se le ha aplicado un factor x10 para poder visualizar todo en la misma gráfica.



Gráfica 13. Radiaciones en función del ángulo de elevación

En la *gráfica 14*, se representa la media del porcentaje de energía generada y acumulada para cada una de las horas del día:



Gráfica 14. Porcentaje de energía generada y acumulada durante las horas del día

9.2 Programas principales: main

Los programas principales, o también llamados *main* en este trabajo, emplean el programa base *irradiazioaV2* para partiendo de estos datos, trabajar diferentes casos relacionados con la inclinación, el acimut, la potencia del panel, los coeficientes de reparto y el coeficiente de inversión. Siendo esto así, existen 6 programas principales, y la siguiente tabla, resume las características de cada uno:

Tabla VII Características de los programas principales

Programa	Inclinación	Acimut	Potencia panel	Coeficiente de reparto	Coeficiente de inversión
main_1b	Fijo	Fijo	Fijo	Fijo. Proporcional a la energía consumida anual	Fijo. Proporcional a la energía consumida anual
main_2b	Fijo	Fijo	Fijo	Dinámico	Fijo. Proporcional a la energía consumida anual
main_3b	Variable	Fijo	Fijo	Dinámico	Fijo. Proporcional a la energía consumida anual
main_4b	Fijo	Variable	Fijo	Dinámico	Fijo. Proporcional a la energía consumida anual
main_5b	Fijo	Fijo	Variable	Dinámico	Fijo. Proporcional a la energía consumida anual
main_6b	Fijo	Fijo	Fijo	Fijo. Proporcional a la energía consumida mensual	Fijo. Proporcional a la energía consumida anual

9.2.1 main_1b

El programa *main_1b*, emplea como referencia una de las 3 matrices (VIVIENDAS2020, PUEBLO2020 o ZALDUONDO2020). De ella extrae los datos de consumos, precios y radiación horizontal. En el programa *main_1b*, está definidas:

- Inclinación: fija
- Acimut: fijo
- Potencia del panel: fijo
- Coeficientes de reparto: fijo proporcional a la energía consumida anual
- Coeficientes de inversión: fijo proporcional a la energía consumida anual

Para ello, se sigue el proceso marcado en la *tabla VII*, donde llama a cada uno de los subprogramas que se detallan más adelante.

Tabla VIII main_1b

main_1b	
1	matriz de consumos y radiaciones horizontales
2	kontsumoaeguzkiordura
3	coeficientes_de_reparto_fjov2
4	ekonomikoa_partekatuaV3
5	irradiazioaV2
6	reparto_inversion_energiacconsumv2
7	adierazle_ekonomikoakV3
8	autoconsumo_COEF
9	marraztu

Con esto se obtienen como dato de salida:

- Coste de la energía consumida por cada componente de la comunidad energética para el caso de no existir instalación de autoconsumo
- Coste total de la energía consumida por la comunidad energética para el caso de no existir instalación de autoconsumo
- Potencia de la instalación
- Coste de la energía consumida por cada componente de la comunidad energética para el caso de existir instalación de autoconsumo
- Coste total de la energía consumida por la comunidad energética para el caso de existir instalación de autoconsumo
- Payback
- VAN
- TIR
- Porcentaje de autoconsumo
- Porcentaje de autosuficiencia
- Gráfico con consumos y producción
- Gráfico con las diferentes radiaciones dependiendo del ángulo de elevación

9.2.2 main_2b

El programa *main_2b*, emplea como referencia una de las 3 matrices (VIVIENDAS2020, PUEBLO2020 o ZALDUONDO2020). De ella extrae los datos de consumos, precios y radiación horizontal. En el programa *main_2b*, está definidas:

- Inclinación: fija
- Acimut: fijo
- Potencia del panel: fijo
- Coeficientes de reparto: dinámico
- Coeficientes de inversión: fijo proporcional a la energía consumida anual

Para ello, se sigue el proceso marcado en la *tabla XI*, donde llama a cada uno de los subprogramas que se detallan más adelante.

Tabla IX main_2b

main_2b	
1	matriz de consumos y radiaciones horizontales
2	kontsumoaeguzkiordura
3	coeficientes_de_reparto_dinamico
4	ekonomikoa_partekatuaV3
5	irradiazioaV2
6	reparto_inversion_energiaconsumv2
7	adierazle_ekonomikoakV3
8	autoconsumo_COEF
9	marraztu

Con esto se obtienen como dato de salida:

- Coste de la energía consumida por cada componente de la comunidad energética para el caso de no existir instalación de autoconsumo
- Coste total de la energía consumida por la comunidad energética para el caso de no existir instalación de autoconsumo
- Potencia de la instalación
- Coste de la energía consumida por cada componente de la comunidad energética para el caso de existir instalación de autoconsumo
- Coste total de la energía consumida por la comunidad energética para el caso de existir instalación de autoconsumo
- Payback
- VAN
- TIR
- Porcentaje de autoconsumo
- Porcentaje de autosuficiencia
- Gráfico con consumos y producción
- Gráfico con las diferentes radiaciones dependiendo del ángulo de elevación

9.2.3 main_3b

El programa *main_3b*, emplea como referencia una de las 3 matrices (VIVIENDAS2020, PUEBLO2020 o ZALDUONDO2020). De ella extrae los datos de consumos, precios y radiación horizontal. En el programa *main_3b*, está definidas:

- Inclinación: variable
- Acimut: fijo
- Potencia del panel: fijo
- Coeficientes de reparto: dinámico
- Coeficientes de inversión: fijo proporcional a la energía consumida anual

Para ello, se sigue el proceso marcado en la *tabla X*, donde llama a cada uno de los subprogramas que se detallan más adelante.

Tabla X main_3b

main_3b	
1	matriz de consumos y radiaciones horizontales
2	kontsumoaeguzkiordura
3	coeficientes_de_reparto_dinamico
4	ekonomikoa_partekatuaV3
5	irradiazioaV2
6	reparto_inversion_energiaconsumv2
7	adierazle_ekonomikoakV3
8	autoconsumo_COEF

Con esto se obtienen como dato de salida:

- Inclinación máxima
- Payback dependiendo de la inclinación
- Gráfico que relaciona el payback y la inclinación
- Gráfico que relaciona la autosuficiencia y la inclinación
- Gráfico que relaciona el autoconsumo y la inclinación

9.2.4 main_4b

El programa *main_4b*, emplea como referencia una de las 3 matrices (VIVIENDAS2020, PUEBLO2020 o ZALDUONDO2020). De ella extrae los datos de consumos, precios y radiación horizontal. En el programa *main_4b*, está definidas:

- Inclinación: fija
- Acimut: variable
- Potencia del panel: fijo
- Coeficientes de reparto: dinámico
- Coeficientes de inversión: fijo proporcional a la energía consumida anual

Para ello, se sigue el proceso marcado en la *tabla XI*, donde llama a cada uno de los subprogramas que se detallan más adelante.

Tabla XI main_4b

main_4b	
1	matriz de consumos y radiaciones horizontales
2	kontsumoaeguzkiordura
3	coeficientes_de_reparto_dinamico
4	ekonomikoa_partekatuaV3
5	irradiazioaV2
6	reparto_inversion_energiaconsumv2
7	adierazle_ekonomikoakV3
8	autoconsumo_COEF

Con esto se obtienen como dato de salida:

- Acimut máximo
- Payback dependiendo de la inclinación
- Gráfico que relaciona el payback y el acimut
- Gráfico que relaciona la autosuficiencia y el acimut
- Gráfico que relaciona el autoconsumo y el acimut

9.2.5 main_5b

El programa *main_5b*, emplea como referencia una de las 3 matrices (VIVIENDAS2020, PUEBLO2020 o ZALDUONDO2020). De ella extrae los datos de consumos, precios y radiación horizontal. En el programa *main_5b*, está definidas:

- Inclinación: fija
- Acimut: fijo
- Potencia del panel: variable
- Coeficientes de reparto: dinámico
- Coeficientes de inversión: fijo proporcional a la energía consumida anual

Para ello, se sigue el proceso marcado en la *tabla XII*, donde llama a cada uno de los subprogramas que se detallan más adelante.

Tabla XII main_5b

main_5b	
1	matriz de consumos y radiaciones horizontales
2	kontsumoaeguzkiordura
3	coeficientes_de_reparto_dinamico
4	ekonomikoa_partekatuaV3
5	irradiazioaV2
6	reparto_inversion_energiaconsumv2
7	adierazle_ekonomikoakV3
8	autoconsumo_COEF

Con esto se obtienen como dato de salida:

- Gráfico que relaciona el payback y la potencia
- Gráfico que relaciona la autosuficiencia y la potencia
- Gráfico que relaciona el autoconsumo y la potencia

9.2.6 main_6b

El programa *main_6b*, emplea como referencia una de las 3 matrices (VIVIENDAS2020, PUEBLO2020 o ZALDUONDO2020). De ella extrae los datos de consumos, precios y radiación horizontal. En el programa *main_6b*, está definidas:

- Inclinación: fija
- Acimut: fijo
- Potencia del panel: fijo
- Coeficientes de reparto: fijo mensual
- Coeficientes de inversión: fijo proporcional a la energía consumida anual

Para ello, se sigue el proceso marcado en la *tabla XIII*, donde llama a cada uno de los subprogramas que se detallan más adelante.

Tabla XIII main_6b

main_6b	
1	matriz de consumos y radiaciones horizontales
2	kontsumoaeguzkiordura
3	coeficientes_de_reparto_fijo_mensual
4	ekonomikoa_partekatuaV3
5	irradiazioaV2
6	reparto_inversion_energiaconsumv2
7	adierazle_ekonomikoakV3
8	autoconsumo_COEF
9	marraztu

Con esto se obtienen como dato de salida:

- Coste de la energía consumida por cada componente de la comunidad energética para el caso de no existir instalación de autoconsumo
- Coste total de la energía consumida por la comunidad energética para el caso de no existir instalación de autoconsumo
- Potencia de la instalación
- Coste de la energía consumida por cada componente de la comunidad energética para el caso de existir instalación de autoconsumo
- Coste total de la energía consumida por la comunidad energética para el caso de existir instalación de autoconsumo
- Payback
- VAN
- TIR
- Porcentaje de autoconsumo

- Porcentaje de autosuficiencia
- Gráfico con consumos y producción
- Gráfico con las diferentes radiaciones dependiendo del ángulo de elevación

9.3 Subprogramas

Desde los programas principales o *main*, se llama a los subprogramas, donde hay programadas diferentes acciones, en función de las respuestas que se quieran analizar. Por ello, en este apartado se definirá el funcionamiento que cada uno de estos programas tiene.

9.3.1 adierazle_ekonomikoakV3

Calcula cual sería el ahorro económico si se pusiese la instalación de autoconsumo. Relaciona este valor con el precio de la instalación, para obtener el payback. Además de esto, tiene en cuenta cual es el tipo de interés de la instalación y la subida anual de la energía, para calcular el VAN y el TIR, y así ver si es interesante realizar la instalación en cada caso o no.

9.3.2 autoconsumo_COEF

Calcula los porcentajes de autoconsumo y autosuficiencia que se conseguirían para las diferentes instalaciones que pueden plantearse. Para ello, compara hora a hora cual es el consumo y cuál es la energía generada, y dependiendo del coeficiente de reparto, identifica si con la energía que se está generando es suficiente para satisfacer las necesidades del momento, o, por el contrario, si es necesario coger energía de la red eléctrica.

9.3.3 coeficientes_de_reparto_dinamico

Sirve para calcular los coeficientes de reparto dinámicos para cada caso. Los coeficientes dinámicos se ajustan cada hora, por lo que el programa calcula cual es el consumo de cada uno de los componentes durante una hora, los suma todos, y reparte la energía en función de esto. Al hacerse este cálculo hora a hora, los coeficientes de reparto cambian constantemente, es por ello, que se denominan dinámicos.

9.3.4 coeficientes_de_reparto_fijo_mensual

En el caso del programa que calcula los coeficientes de reparto fijo mensual, los coeficientes se calculan para el periodo de un mes. El cálculo es parecido al caso anterior, pero esta vez, en vez de hacer el cálculo hora por hora, suma los consumos de cada coeficiente durante un mes, y en función de esto, calcula unos coeficientes fijos para todo el mes.

9.3.5 coeficientes_de_reparto_fijov2

Se calculan los coeficientes de reparto, pero en este caso, serán coeficientes fijos para el periodo de todo un año. Como en los dos casos anteriores, el procedimiento es similar, pero para el periodo anual. Se suman los consumos de cada coeficiente y en función del total, a cada uno de ellos le corresponderá un coeficiente fijo. Este tipo de reparto de coeficientes es el que hoy en día está en vigor según la ley española.

9.3.6 ekonomikoa_partekatuaV3

Detecta hora a hora, si en función del coeficiente de reparto asignado, la energía de la instalación de autoconsumo es suficiente para hacer frente a las necesidades del momento o por el contrario es necesario coger energía de la red. Del mismo modo, si la energía generada sirve para cubrir las necesidades de consumo, calcula si existe sobrante de energía que pueda enviarse a la red. Dependiendo de cuál es la situación de cada momento, multiplica la energía enviada a la red por el precio que se pagaría por ella o multiplica la energía comprada a la red por el precio que se pagaría por ella, para obtener un balance económico de cada caso.

9.3.7 kontsumoeguzkiordura

Es el programa que se encarga de ajustar las horas del año, teniendo en cuenta los cambios horarios de primavera y de otoño. Con esto se consigue cuadrar la hora local de los consumos y de la energía generada, ya que las bases de datos de Euskalmet y i-DE no están unificadas, y no tienen en cuenta el cambio horario del mismo modo.

9.3.8 marraztu

Es el programa encargado de generar los gráficos de salida que se han mencionado anteriormente. En este, unifica los datos según nuestro interés, mediante el comando "hold on". En él se puede elegir el tipo de salida de los datos, así como el color que representará a cada uno de ellos.

9.3.9 reparto_inversion_energiaconsumv2

Reparte la inversión total entre cada uno de los componentes de la comunidad energética, teniendo en cuenta para ello, el consumo total anual que cada uno de estos tiene. Con esto se consigue repartir en función del consumo el coste total que tiene la inversión inicial necesaria para realizar la instalación de autoconsumo.

9.3.10 energía_optimoV2

Con este programa se pretende buscar cuales son la inclinación y el acimut que proporcionan la energía máxima, para el caso concreto que se está estudiando. Para ello, tiene en cuenta el programa *irradiazioav2*.

9.3.11 irradiazioaren_simetria

En este programa, se hace un seguimiento de la radiación hora a hora para obtener dos datos, que se expresan mediante dos gráficos. Por un lado, se muestra cual es la energía que ofrece una instalación concreta en función de la potencia de entrada, y muestra como está repartido el aporte de dicha energía durante las horas del día. Por otro lado, suma el aporte de energía, para ver mediante porcentajes, en cada momento del día, cual es el porcentaje de energía que ya se ha recibido.

10 DATOS OBTENIDOS

En este apartado, se reflejan los datos obtenidos con las 3 comunidades energéticas diferentes y la combinación de los diferentes programas, en función de los datos de entrada definidos en la *tabla V*.

Con el subprograma *energía_optimoV2* se consiguen los valores de inclinación y acimut que más energía dan. Estos valores son de 195° para el acimut y 36° la inclinación. Sin embargo, lo que se busca es que los valores de autoconsumo y autosuficiencia sean los óptimos, por lo que, como se verá más adelante, para los casos en los que la inclinación y el acimut sean fijos, se utilizarán los siguientes valores:

- Acimut: 183°
- Inclinación 37°

Para poder realizar los cálculos económicos, los precios para realizar la compensación de la energía han sido los del año 2020. Del mismo modo, para hacer el cálculo de la instalación, se ha optado por 0,9 €/W. En cuanto a los cálculos del VAN y el TIR, los valores del tipo de interés y la subida anual de la energía utilizados son los siguientes:

- Tipo de interés: 3,5 %
- Subida anual de la energía: 4,5 %

10.1 Comunidad energética 1

Es la comunidad energética formada por el ayuntamiento, el semáforo, la Korta, el depósito de cloración y el albergue. Se utiliza la matriz de datos PUEBLO2020.

Empleando los coeficientes de reparto fijo anual, fijo mensual y dinámico, en la *tabla XIV* se muestran la energía comprada de la red (A), la energía excedentaria (B) y la energía consumida directamente de la instalación de autoconsumo. Además de estos datos, se muestran datos económicos como el payback, el VAN y el TIR, con objeto de determinar la viabilidad de realizar la instalación o no. Finalmente, se reflejan los porcentajes de autoconsumo y autosuficiencia:

Tabla XIV Comunidad energética 1, datos generales

Potencia (kW)	Coefficiente de reparto	A (kW)	B (kW)	C (kW)	Payback (años)	VAN	TIR	Autoconsumo (%)	Autosuficiencia (%)
3	Anual	7191.9	1438.6	2344.9	11.98	3419.3	0.109	61.98	24.59
	Mensual	7184.4	1413	2352.5	11.96	3433.8	0.110	62.18	24.67
	Dinámico	7030	1277.7	2505.8	11.60	3620.4	0.113	66.23	26.28
5	Anual	6702.3	3471.2	2834.6	13.70	4419.3	0.095	44.95	29.72
	Mensual	6690.7	3459.6	2846.2	13.68	4438.0	0.095	45.14	29.84
	Dinámico	6524.1	3293.1	3012.8	13.38	4637.1	0.098	47.78	31.59
7	Anual	6399.9	5691.2	3137	15.33	4866.2	0.084	35.53	32.89
	Mensual	6384.1	5675.4	3152.8	14.99	5114.0	0.086	35.71	33.06
	Dinámico	6219.9	5511.2	3317	14.82	5245.3	0.087	37.57	34.78
9	Anual	6181.5	7995.1	3355.4	16.96	4873.4	0.074	29.56	35.18
	Mensual	6164.6	7978.3	3372.3	16.65	5113.8	0.076	29.71	35.36
	Dinámico	6009.1	7822.7	3527.8	16.60	5157.0	0.076	31.08	36.99
10	Anual	6094.2	9169	3442.7	17.83	4716.5	0.070	27.3	36.1
	Mensual	6077.7	9152.5	3459.2	17.54	4937.0	0.071	27.43	36.27
	Dinámico	5927.3	9002.1	3609.6	17.47	4994.1	0.071	28.62	37.85
12	Anual	5950.5	1154.8	3586.4	19.57	4195.3	0.061	23.7	37.61
	Mensual	5934	11531	3602.9	19.34	4367.5	0.062	23.81	37.78
	Dinámico	5793.2	11390	3743.7	19.27	4428.8	0.063	24.74	39.26

Empleando los coeficientes de reparto fijo anual, fijo mensual y dinámico, en la *tabla XV*, se muestran los datos económicos de la comunidad energética 1. En ella aparecen el coste de la energía consumida para el caso de no existir instalación fotovoltaica de autoconsumo y los costes de diferentes instalaciones en función de la potencia y de los datos de entrada:

Tabla XV Comunidad energética 1, datos económicos

	Lugar	Ayuntamiento	Semáforo	Korta	Cloración	Albergue	Total
	Precio energía sin instalación PV (€)	491.83	47.65	44.97	94.08	19.42	697.97
Potencia (kW)	Coeficiente de reparto	Precio energía con instalación PV (€)					
3	Anual	329.72	31.39	34.09	63.70	13.86	472.78
	Mensual	332.24	30.79	34.16	61.95	13.09	472.25
	Dinámico	327.60	30.41	32.22	63.14	11.98	465.38
5	Anual	255.31	24.62	27.80	50.61	11.38	369.74
	Mensual	259.71	23.66	27.89	47.71	10.05	369.06
	Dinámico	253.04	22.99	26.94	49.85	8.88	361.73
7	Anual	199.53	18.29	21.73	38.32	9.17	287.06
	Mensual	197.30	17.28	21.84	34.35	7.15	277.94
	Dinámico	190.82	16.38	22.10	37.49	6.29	273.10
9	Anual	156.66	12.46	17.36	26.67	7.38	220.55
	Mensual	150.95	13.08	17.37	25.39	4.89	211.71
	Dinámico	146.39	12.35	17.82	28.50	5.04	210.12
10	Anual	138.31	10.47	15.53	22.17	6.70	193.21
	Mensual	131.83	11.34	15.54	22.02	4.34	185.09
	Dinámico	127.06	10.69	16.32	24.24	4.65	182.99
12	Anual	106.60	7.12	12.56	14.33	5.51	146.15
	Mensual	99.42	8.43	12.24	16.26	3.44	139.81
	Dinámico	95.17	7.96	13.50	16.90	4.00	137.56

Empleando el programa *main_3b*, en la *tabla XVI* muestran el payback, el porcentaje de autoconsumo y el porcentaje de autosuficiencia, para las diferentes potencias, en función del ángulo de inclinación de las placas fotovoltaicas, con acimut de 183°:

Tabla XVI Comunidad energética 1, datos en función de la inclinación

Potencia (kW)	Inclinación (°)	10	20	30	37	40	50	60	70
3	Payback (años)	12.908	12.145	11.728	11.608	11.597	11.739	12.180	12.974
	Autosuficiencia (%)	24.51	25.54	26.12	26.27	26.28	26.02	25.31	24.1
	Autoconsumo (%)	68.65	66.93	66.18	66.23	66.4	67.62	69.83	73.15
5	Payback (años)	14.855	13.983	13.512	13.383	13.374	13.546	14.043	14.943
	Autosuficiencia (%)	29.97	30.93	31.45	31.59	31.59	31.37	30.77	29.71
	Autoconsumo (%)	50.35	48.63	47.81	47.77	47.89	48.9	50.95	54.1
7	Payback (años)	16.616	15.634	15.039	14.828	14.783	14.823	15.346	16.334
	Autosuficiencia (%)	33.24	34.14	34.65	34.78	34.78	34.55	33.98	33.04
	Autoconsumo (%)	39.89	38.34	37.62	37.57	37.66	38.47	40.18	42.97
9	Payback (años)	18.706	17.616	16.902	16.603	16.537	16.516	16.796	17.571
	Autosuficiencia (%)	35.47	36.37	36.86	36.99	36.99	36.75	36.18	35.32
	Autoconsumo (%)	33.1	31.76	31.13	31.08	31.15	31.82	33.27	35.73
10	Payback (años)	19.868	18.656	17.833	17.476	17.376	17.287	17.571	18.245
	Autosuficiencia (%)	36.38	37.27	37.73	37.84	37.84	37.59	37.02	36.2
	Autoconsumo (%)	30.56	29.3	28.68	28.62	28.68	29.3	30.65	32.96
12	Payback (años)	22.128	20.683	19.706	19.271	19.139	18.874	19.032	19.687
	Autosuficiencia (%)	37.89	38.74	39.16	39.25	39.24	38.95	38.38	37.61
	Autoconsumo (%)	26.52	25.38	24.8	24.73	24.78	25.3	26.47	28.54

Empleando el programa *main_4b*, en la *tabla XVII* muestran el payback, el porcentaje de autosuficiencia y el porcentaje de autoconsumo, para las diferentes potencias, en función del ángulo de acimut, con una inclinación de 37°:

Tabla XVII Comunidad energética 1, datos en función del acimut

Potencia (kW)	Acimut (°)	90	135	180	183	225	270
3	Payback (años)	22.013	14.441	11.680	11.608	11.636	13.880
	Autosuficiencia (%)	18.46	23.95	26.28	26.27	24.31	19.52
	Autoconsumo (%)	77.01	71.55	66.54	66.23	63.56	64.7
5	Payback (años)	24.060	16.269	13.456	13.383	13.528	16.277
	Autosuficiencia (%)	23.35	29.24	31.59	31.59	29.57	24.27
	Autoconsumo (%)	58.45	52.41	47.99	47.77	46.38	48.25
7	Payback (años)	25.606	17.564	14.887	14.828	15.179	18.211
	Autosuficiencia (%)	26.42	32.46	34.78	34.78	32.57	27.19
	Autoconsumo (%)	47.24	41.56	37.74	37.57	36.49	38.61
9	Payback (años)	26.979	19.171	16.659	16.603	17.093	20.361
	Autosuficiencia (%)	28.61	34.61	36.99	36.99	34.71	29.2
	Autoconsumo (%)	39.78	34.47	31.21	31.08	30.25	32.25
10	Payback (años)	27.818	20.052	17.530	17.476	18.071	21.535
	Autosuficiencia (%)	29.51	35.46	37.84	37.84	35.57	30
	Autoconsumo (%)	36.93	31.78	28.73	28.62	27.9	29.82
12	Payback (años)	29.740	21.905	19.313	19.271	20.018	24.071
	Autosuficiencia (%)	30.94	36.81	39.23	39.25	36.96	31.33
	Autoconsumo (%)	32.26	27.5	24.83	24.73	24.16	25.95

Empleando el programa *main_5b*, en la *tabla XVI* muestra el payback, el porcentaje de autosuficiencia y el porcentaje de autoconsumo, para las diferentes potencias, con una inclinación de 37° y un acimut de 183°:

Tabla XVIII Comunidad energética 1, datos en función de la potencia

Potencia (kW)	Payback (años)	Autosuficiencia (%)	Autoconsumo (%)
2	10.383	21.58	81.61
3	11.608	26.27	66.23
4	12.587	29.36	55.51
5	13.383	31.59	47.77
6	14.044	33.34	42.02
7	14.828	34.78	37.57
8	15.746	35.98	34.01
9	16.603	36.99	31.08
10	17.476	37.84	28.62
11	18.361	38.59	26.52
12	19.271	39.25	24.73
13	20.277	39.83	23.17
14	21.258	40.35	21.79
15	22.206	40.82	20.58
16	23.127	41.25	19.49
17	24.047	41.64	18.52
18	25.059	42	17.64

10.2 Comunidad energética 2

Es la comunidad energética formada por la vivienda 1, la vivienda 2 y la vivienda 3. Se utiliza la matriz de datos VIVIENDAS2020.

Empleando los coeficientes de reparto fijo anual, fijo mensual y dinámico, en la *tabla XIX* se muestran la energía comprada de la red (A), la energía excedentaria (B) y la energía consumida directamente de la instalación de autoconsumo. Además de estos datos, se

muestran datos económicos como el payback, el VAN y el TIR, con objeto de determinar la viabilidad de realizar la instalación o no. Finalmente, se reflejan los porcentajes de autoconsumo y autosuficiencia:

Tabla XIX Comunidad energética 2, datos generales

Potencia (kW)	Coefficiente de reparto	A (kW)	B (kW)	C (kW)	Payback (años)	VAN	TIR	Autoconsumo (%)	Autosuficiencia (%)
3	Anual	7636.9	3435.2	2844.6	14.03	2527.3	0.093	45.3	27.14
	Mensual	7604.1	3402.4	2877.4	13.93	2563.8	0.093	45.82	27.45
	Dinámico	7486.5	3284.9	2995	13.62	2684.5	0.096	47.69	28.57
5	Anual	7411.9	5732.6	3069.6	16.09	3099.8	0.079	34.87	29.29
	Mensual	7380.3	5701.1	3101.1	15.76	3259.1	0.081	35.23	29.59
	Dinámico	7281.2	5601.9	3200.3	15.56	3355.0	0.082	36.36	30.53
7	Anual	7281.6	8124.6	3199.9	19.15	2638.5	0.063	28.26	30.53
	Mensual	7255.3	8098.3	3226.2	18.15	3127.2	0.068	28.49	30.78
	Dinámico	7171.7	8014.7	3309.8	18.29	3059.8	0.067	29.23	31.58
9	Anual	7195.2	10561	3286.3	22.32	1757.8	0.050	23.73	31.35
	Mensual	7172.6	10538	3308.9	21.60	2087.9	0.053	23.9	31.57
	Dinámico	7101.5	10467	3380	21.59	2091.5	0.053	24.41	32.25
10	Anual	7161.4	11788	3320.1	24.00	1187.7	0.044	21.98	31.68
	Mensual	7140.4	11767	3341.1	23.57	1372.0	0.046	22.11	31.88
	Dinámico	7074.1	11701	3407.4	23.55	1385.0	0.046	22.55	32.51
12	Anual	7105.6	14254	3375.9	27.74	-222.4	0.033	19.15	32.21
	Mensual	7088.7	14238	3392.8	27.59	-166.2	0.033	19.24	32.37
	Dinámico	7027.8	14177	3453.7	27.54	-144.4	0.034	19.59	32.95

Empleando los coeficientes de reparto fijo anual, fijo mensual y dinámico, en la *tabla XX*, se muestran los datos económicos de la comunidad energética 2. En ella aparecen el coste de la energía consumida anual para el caso de no existir instalación fotovoltaica de autoconsumo y los costes de diferentes instalaciones en función de la potencia y de los datos de entrada:

Tabla XX Comunidad energética 2, datos económicos

	Lugar	Vivienda 1	Vivienda 2	Vivienda 3	Total
	Precio energía sin instalación PV (€)	228.73	80.19	114.79	423.71
Potencia (kW)	Coefficiente de reparto	Precio energía con instalación PV (€)			
3	Anual	121.85	44.56	64.93	231.34
	Mensual	122.01	42.41	65.58	230
	Dinámico	118.85	41.87	64.84	225.56
5	Anual	72.63	28.94	42.46	144.03
	Mensual	72.24	23.86	42.08	138.18
	Dinámico	68.77	24.34	41.53	134.64
7	Anual	43.99	20.55	30.23	94.77
	Mensual	39.69	10.89	26.20	76.78
	Dinámico	39.18	11.77	28.32	79.27
9	Anual	26.00	14.25	20.69	60.94
	Mensual	23.73	7.86	17.20	48.79
	Dinámico	23.43	7.44	17.79	48.66
10	Anual	19.86	11.18	17.76	48.8
	Mensual	20.75	7.05	14.22	42.02
	Dinámico	20.12	6.61	14.82	41.55
12	Anual	13.97	6.10	14.39	34.46
	Mensual	15.81	5.43	11.15	32.39
	Dinámico	15.20	4.96	11.43	31.59

Empleando el programa *main_3b*, en la *tabla XXI* muestra el payback, el porcentaje de autosuficiencia y el porcentaje de autoconsumo, para las diferentes potencias, en función del ángulo de inclinación de las placas fotovoltaicas, con acimut de 183°:

Tabla XXI Comunidad energética 2, datos en función de la inclinación

Potencia (kW)	Inclinación (°)	10	20	30	37	40	50	60	70
3	Payback (años)	15.048	14.195	13.743	13.626	13.622	13.821	14.359	15.311
	Autosuficiencia (%)	28.03	28.4	28.56	28.57	28.55	28.36	27.99	27.41
	Autoconsumo (%)	49.78	48.51	47.82	47.69	47.72	48.21	49.29	50.97
5	Payback (años)	17.281	16.248	15.706	15.567	15.567	15.785	16.359	17.452
	Autosuficiencia (%)	30.13	30.41	30.53	30.53	30.51	30.34	30.02	29.55
	Autoconsumo (%)	38.64	37.22	36.48	36.35	36.39	36.92	38.11	40.05
7	Payback (años)	20.563	19.356	18.615	18.290	18.191	18.093	18.433	19.528
	Autosuficiencia (%)	31.23	31.48	31.58	31.57	31.55	31.39	31.08	30.67
	Autoconsumo (%)	31.34	30.02	29.34	29.22	29.26	29.74	30.84	32.71
9	Payback (años)	24.019	22.828	21.976	21.597	21.487	21.307	21.335	21.865
	Autosuficiencia (%)	31.96	32.17	32.26	32.24	32.21	32.03	31.72	31.36
	Autoconsumo (%)	26.34	25.14	24.52	24.4	24.43	24.85	25.84	27.57
10	Payback (años)	25.900	24.601	23.828	23.550	23.450	23.244	23.183	23.497
	Autosuficiencia (%)	32.24	32.45	32.53	32.5	32.47	32.28	31.97	31.62
	Autoconsumo (%)	24.4	23.25	22.66	22.55	22.57	22.97	23.9	25.55
12	Payback (años)	29.638	28.480	27.859	27.542	27.426	27.143	26.997	27.014
	Autosuficiencia (%)	32.73	32.91	32.97	32.95	32.91	32.71	32.38	32.04
	Autoconsumo (%)	21.28	20.22	19.69	19.58	19.61	19.96	20.79	22.29

Empleando el programa *main_4b*, en la *tabla XXII* muestra el payback, el porcentaje de autosuficiencia y el porcentaje de autoconsumo, para las diferentes potencias, en función del ángulo de acimut, con una inclinación de 37°:

Tabla XXII Comunidad energética 2, datos en función del acimut

Potencia (kW)	Acimut (°)	90	135	180	183	225	270
3	Payback (años)	24.028	16.518	13.699	13.626	13.775	16.437
	Autosuficiencia (%)	24.72	27.36	28.57	28.57	27.74	25.54
	Autoconsumo (%)	54.18	50.42	47.81	47.69	47.32	49.82
5	Payback (años)	26.526	18.538	15.635	15.567	15.843	19.085
	Autosuficiencia (%)	26.62	29.22	30.51	30.53	29.83	27.68
	Autoconsumo (%)	44.25	39.19	36.44	36.35	36.46	39.78
7	Payback (años)	28.290	20.570	18.327	18.290	18.860	22.260
	Autosuficiencia (%)	27.65	30.18	31.54	31.57	30.99	28.93
	Autoconsumo (%)	37.01	31.81	29.29	29.22	29.51	32.92
9	Payback (años)	30.825	23.623	21.626	21.597	22.321	26.145
	Autosuficiencia (%)	28.33	30.8	32.2	32.24	31.75	29.76
	Autoconsumo (%)	31.75	26.74	24.46	24.4	24.76	28.02
10	Payback (años)	32.705	25.301	23.564	23.55	24.085	27.989
	Autosuficiencia (%)	28.6	31.03	32.46	32.5	32.04	30.07
	Autoconsumo (%)	29.63	24.76	22.6	22.55	22.91	26.07
12	Payback (años)	36.461	28.815	27.556	27.542	28.083	31.877
	Autosuficiencia (%)	29.01	31.41	32.89	32.95	32.53	30.57
	Autoconsumo (%)	26.12	21.57	19.62	19.58	19.95	22.87

Empleando el programa *main_5b*, en la *tabla XXIII* muestra el payback, el porcentaje de autosuficiencia y el porcentaje de autoconsumo, para las diferentes potencias, con una inclinación de 37° y un acimut de 183°:

Tabla XXIII Comunidad energética 2, datos en función de la potencia

Potencia (kW)	Payback (años)	Autosuficiencia (%)	Autoconsumo (%)
2	12.185	26.6	55.56
3	13.626	28.57	47.69
4	14.681	29.74	41.34
5	15.567	30.53	36.35
6	16.764	31.12	32.42
7	18.290	31.57	29.22
8	19.930	31.94	26.6
9	21.597	32.24	24.4
10	23.550	32.5	22.55
11	25.557	32.73	20.96
12	27.542	32.95	19.58
13	29.487	33.14	18.38
14	31.418	33.31	17.32
15	33.396	33.46	16.38
16	35.370	33.61	15.53
17	37.357	33.74	14.77
18	39.367	33.87	14.08

10.3 Comunidad energética 3

Es la comunidad energética formada por el ayuntamiento, el semáforo, la Korta, el depósito de cloración, el albergue, la vivienda 1 y la vivienda 2. Se utiliza la matriz de datos ZALDUONDO2020.

Empleando los coeficientes de reparto fijo anual, fijo mensual y dinámico, en la *tabla XXIV* se muestran la energía comprada de la red (A), la energía excedentaria (B) y la energía consumida directamente de la instalación de autoconsumo. Además de estos datos, se muestran datos económicos como el payback, el VAN y el TIR, con objeto de determinar la viabilidad de realizar la instalación o no. Finalmente, se reflejan los porcentajes de autoconsumo y autosuficiencia:

Tabla XXIV Comunidad energética 3, datos generales

Potencia (kW)	Coefficiente de reparto	A (kW)	B (kW)	C (kW)	Payback (años)	VAN	TIR	Autoconsumo (%)	Autosuficiencia (%)
3	Anual	10576	1024.5	2759	10.97	3986.7	0.120	72.92	20.69
	Mensual	10542	991.18	2792.3	10.89	4036.7	0.120	73.8	20.94
	Dinámico	10230	678.58	3104.9	10.32	4404.4	0.127	82.06	23.28
5	Anual	9858.3	2829.4	3476.4	12.55	5240.3	0.104	55.13	26.07
	Mensual	9797.3	2741.4	3537.5	12.45	5317.5	0.105	56.34	26.53
	Dinámico	9418.3	2389.4	3916.5	11.94	5741.2	0.110	62.11	29.37
7	Anual	9405.1	4898.6	3929.6	13.67	6219.5	0.095	44.51	29.47
	Mensual	9336.8	4830.2	3997.9	13.58	6303.2	0.096	45.29	29.98
	Dinámico	8958.9	4452.3	4375.9	13.16	6700.0	0.099	49.57	32.82
9	Anual	9084.4	7100.1	4250.4	14.69	6877.6	0.088	37.45	31.87
	Mensual	9008.6	7024.3	4326.2	14.44	7141.4	0.090	38.11	32.44
	Dinámico	8643.3	6659.1	4691.4	14.09	7517.7	0.092	41.33	35.18
10	Anual	8952.4	8229.3	4382.3	15.26	7017.7	0.084	34.75	32.86
	Mensual	8876.3	8153.2	4458.5	14.80	7522.9	0.087	35.35	33.44
	Dinámico	8519.5	7796.4	4815.3	14.49	7869.3	0.089	38.18	36.11
12	Anual	8731.1	10530	4603.7	16.31	7185.7	0.078	30.42	34.52
	Mensual	8657	10456	4677.8	15.64	7963.2	0.082	30.91	35.08
	Dinámico	8319.3	10119	5015.4	15.52	8.1076	0.083	33.14	37.61

Empleando los coeficientes de reparto fijo anual, fijo mensual y dinámico, en la *tabla XXV*, se muestran los datos económicos de la comunidad energética 2. En ella aparecen el coste de la energía consumida para el caso de no existir instalación fotovoltaica de

autoconsumo y los costes de diferentes instalaciones en función de la potencia y de los datos de entrada:

Tabla XXV Comunidad energética 3, datos económicos

	Lugar	Ayunt.	Semaf.	Korta	Clorac.	Alber.	Viv. 1	Viv. 2	Total
	Precio energía sin instalación PV (€)	491.83	47.65	44.97	94.08	19.42	228.73	80.19	1006.9
Potencia (kW)	Coeficiente de reparto	Precio energía con instalación PV (€)							
3	Anual	364.84	34.71	36.86	69.96	15.06	176.41	62.95	760.83
	Mensual	367.13	34.49	37.04	69.20	14.68	176.02	60.40	758.99
	Dinámico	362.23	34.52	34.81	70.33	13.59	170.68	59.28	745.46
5	Anual	307.43	29.36	32.25	59.79	13.10	151.69	54.81	648.46
	Mensual	311.09	29.05	32.55	58.50	12.50	150.98	50.91	645.62
	Dinámico	303.05	29.00	30.55	60.28	11.08	145.78	50.25	630.03
7	Anual	255.09	24.60	27.78	50.57	11.38	129.51	47.24	546.18
	Mensual	260.66	24.19	28.18	48.77	10.47	128.62	42.18	543.10
	Dinámico	250.72	24.05	26.85	51.36	9.03	124.12	42.34	528.50
9	Anual	211.96	20.04	23.41	41.73	9.78	108.80	39.97	455.73
	Mensual	213.01	19.52	23.92	39.37	8.50	107.72	33.95	446.02
	Dinámico	201.13	19.33	23.35	42.84	7.09	103.58	34.82	432.17
10	Anual	196.21	17.81	21.33	37.41	9.02	98.77	36.87	417.45
	Mensual	189.94	17.23	21.83	34.77	7.53	97.59	29.94	398.86
	Dinámico	177.81	17.02	21.65	38.67	6.15	93.61	31.17	386.11
12	Anual	165.47	13.54	18.14	28.89	7.71	80.05	31.20	345.03
	Mensual	152.92	13.43	17.75	26.12	5.62	78.38	22.17	316.42
	Dinámico	143.85	13.32	18.32	30.90	5.20	75.52	23.96	311.11

Empleando el programa *main_3b*, en la *tabla XXVI* muestra el payback, el porcentaje de autosuficiencia y el porcentaje de autoconsumo, para las diferentes potencias, en función del ángulo de inclinación de las placas fotovoltaicas, con acimut de 183°:

Tabla XXVI Comunidad energética 3, datos en función de la inclinación

Potencia (kW)	Inclinación (°)	10	20	30	37	40	50	60	70
3	Payback (años)	11.482	10.790	10.424	10.327	10.324	10.481	10.912	11.703
	Autosuficiencia (%)	21.56	22.61	23.17	23.28	23.26	22.88	22	20.59
	Autoconsumo (%)	84.42	82.85	82.08	82.06	82.17	83.11	84.9	87.38
5	Payback (años)	13.227	12.466	12.054	11.940	11.931	12.084	12.533	13.344
	Autosuficiencia (%)	27.72	28.72	29.24	29.37	29.36	29.05	28.29	27.03
	Autoconsumo (%)	65.12	63.14	62.17	62.1	62.23	63.33	65.5	68.83
7	Payback (años)	14.569	13.736	13.290	13.168	13.161	13.333	13.822	14.701
	Autosuficiencia (%)	31.31	32.23	32.7	32.81	32.8	32.53	31.86	30.73
	Autoconsumo (%)	52.53	50.61	49.66	49.56	49.67	50.65	52.68	55.89
9	Payback (años)	15.624	14.722	14.228	14.093	14.085	14.275	14.810	15.760
	Autosuficiencia (%)	33.73	34.58	35.06	35.18	35.17	34.92	34.3	33.25
	Autoconsumo (%)	44.02	42.23	41.4	41.33	41.42	42.29	44.11	47.03
10	Payback (años)	16.141	15.190	14.653	14.497	14.481	14.670	15.226	16.207
	Autosuficiencia (%)	34.67	35.53	36	36.11	36.1	35.84	35.24	34.24
	Autoconsumo (%)	40.73	39.05	38.26	38.18	38.26	39.06	40.78	43.6
12	Payback (años)	17.315	16.329	15.727	15.521	15.476	15.563	16.042	17.025
	Autosuficiencia (%)	36.26	37.1	37.52	37.61	37.6	37.33	36.74	35.84
	Autoconsumo (%)	35.49	33.98	33.23	33.14	33.2	33.9	35.44	38.02

Empleando el programa *main_4b*, en la *tabla XXVII* muestra el payback, el porcentaje de autosuficiencia y el porcentaje de autoconsumo, para las diferentes potencias, en función del ángulo de acimut, con una inclinación de 37°:

Tabla XXVII Comunidad energética 3, datos en función del acimut

Potencia (kW)	Acimut (°)	90	135	180	183	225	270
3	Payback (años)	20.679	13.226	10.408	10.327	10.262	10.195
	Autosuficiencia (%)	15.63	20.82	23.27	23.28	21.41	17
	Autoconsumo (%)	91.17	86.97	82.37	82.06	78.26	78.77
5	Payback (años)	22.171	14.704	12.011	11.940	11.991	14.277
	Autosuficiencia (%)	21.14	27	29.38	29.37	27.3	22.18
	Autoconsumo (%)	73.98	67.69	62.39	62.1	59.88	61.67
7	Payback (años)	23.556	15.973	13.240	13.168	13.303	15.900
	Autosuficiencia (%)	24.48	30.47	32.82	32.81	30.73	25.47
	Autoconsumo (%)	61.21	54.56	49.79	49.56	48.14	50.58
9	Payback (años)	24.728	16.982	14.166	14.093	14.301	17.198
	Autosuficiencia (%)	26.8	32.8	35.18	35.18	33.09	27.78
	Autoconsumo (%)	52.1	45.67	41.51	41.33	40.32	42.9
10	Payback (años)	25.237	17.408	14.564	14.497	14.756	17.753
	Autosuficiencia (%)	27.73	33.69	36.11	36.11	34.03	28.72
	Autoconsumo (%)	48.53	42.23	38.34	38.18	37.32	39.91
12	Payback (años)	26.123	18.187	15.577	15.521	15.874	18.959
	Autosuficiencia (%)	29.27	35.15	37.6	37.61	35.6	30.27
	Autoconsumo (%)	42.68	36.71	33.27	33.14	32.53	35.05

Empleando el programa *main_5b*, en la *tabla XXVIII* muestra el payback, el porcentaje de autosuficiencia y el porcentaje de autoconsumo, para las diferentes potencias, con una inclinación de 37° y un acimut de 183°:

Tabla XXVIII Comunidad energética 3, datos en función de la potencia

Potencia (kW)	Payback (años)	Autosuficiencia (%)	Autoconsumo (%)
2	9.468	17.8	94.14
3	10.327	23.28	82.06
4	11.185	26.84	70.94
5	11.940	29.37	62.1
6	12.599	31.28	55.12
7	13.168	32.81	49.56
8	13.661	34.08	45.05
9	14.093	35.18	41.33
10	14.497	36.11	38.18
11	14.995	36.91	35.47
12	15.521	37.61	33.14
13	16.089	38.23	31.09
14	16.693	38.79	29.29
15	17.320	39.29	27.7
16	17.954	39.74	26.26
17	18.609	40.15	24.97
18	19.284	40.53	23.81

11 CASOS A ESTUDIAR

Después de analizar los datos obtenidos, se van a estudiar 3 casos diferentes, uno de cada comunidad energética, siendo estos los más interesantes para cada caso.

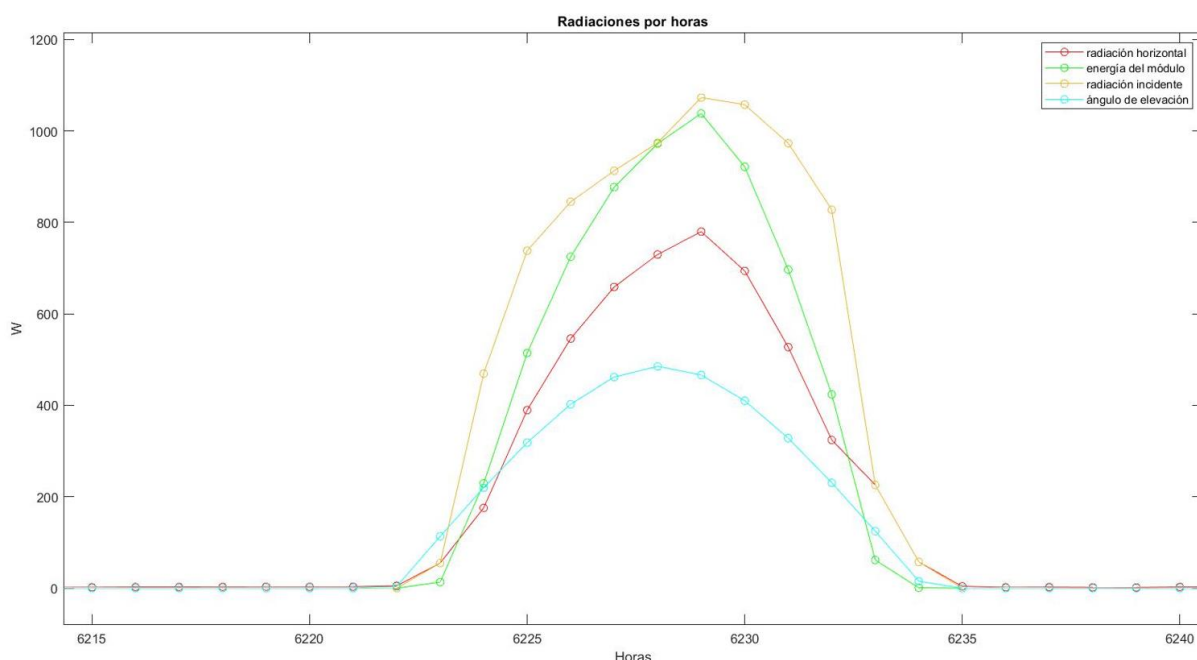
11.1 Comunidad energética 1

Para la comunidad energética 1, viendo los datos obtenidos, el caso más interesante y por lo tanto el que se va a analizar más en profundidad se muestra en la *tabla XXIX*:

Tabla XXIX Comunidad energética 1, detalles del caso a estudiar

Potencia (kW)	Inclinación (°)	Acimut (°)	Coefficiente de reparto	Coefficiente de inversión
9	37	183	Dinámico	Fijo. Proporcional a la energía consumida anual

En la *gráfica 15*, se muestran la radiación horizontal, el incidente y la que llega al módulo, en función del ángulo de elevación, para el caso que se está estudiando. En este caso, son datos situados entre las horas 6216 y 6240, es decir, todo el día 259 del año 2020:



Gráfica 15. Datos de la comunidad energética 1

En la *tabla XXX*, se muestran la energía que se coge de la red, la energía sobrante, la energía autoconsumida, el payback, el VAN, el TIR, el porcentaje de autoconsumo y el porcentaje de autosuficiencia, para la potencia seleccionada, con los diferentes coeficientes de reparto:

Tabla XXX Comunidad energética 1, diferentes coeficientes de reparto

Potencia (kW)	Coefficiente de reparto	A (kW)	B (kW)	C (kW)	Payback (años)	VAN	TIR	Autoconsumo (%)	Autosuficiencia (%)
9	Anual	6181.5	7995.1	3355.4	16.966	4873.4	0.074	29.56	35.18
	Mensual	6164.6	7978.3	3372.3	16.657	5113.8	0.076	29.71	35.36
	Dinámico	6009.1	7822.7	3527.8	16.603	5157.0	0.076	31.08	36.99

En la *tabla XXXI*, se muestra el precio de la energía consumida anual de cada uno de los lugares que forman la comunidad energética y cuál sería el precio final de la energía consumida para cada tipo de coeficiente de reparto, con una potencia concreta:

Tabla XXXI Comunidad energética 1, precio final de la energía

	Lugar	Ayuntamiento	Semáforo	Korta	Cloración	Albergue	Total
	Precio energía sin instalación PV (€)	491.83	47.65	44.97	94.08	19.42	697.97
Potencia (kW)	Coeficiente de reparto	Precio energía con instalación PV (€)					
9	Anual	156.66	12.46	17.36	26.67	7.38	220.55
	Mensual	150.95	13.08	17.37	25.39	4.89	211.71
	Dinámico	146.39	12.35	17.82	28.50	5.04	210.12

En la *tabla XXXII*, se muestra el payback general de la instalación y el payback individual de cada lugar, para los diferentes coeficientes de reparto:

Tabla XXXII Comunidad energética 1, payback general e individual

	Lugar	Ayuntamiento	Semáforo	Korta	Cloración	Albergue
Potencia (kW)	Coeficiente de reparto	Payback individual (años)				
9	Anual	17.245	15.561	17.842	15.853	17.526
	Mensual	16.956	15.839	17.845	15.558	14.527
	Dinámico	16.732	15.511	18.144	16.295	14.673
	Payback general (años)					
	Anual	16.966				
	Mensual	16.657				
	Dinámico	16.603				

Después de analizar más en profundidad la comunidad energética 1, se ha visto que los mejores datos se obtienen con el programa *main_2b*, es decir el que emplea coeficientes de reparto dinámicos.

Los únicos datos que no mejoran aplicando coeficientes de reparto dinámicos son los paybacks individuales. Sin embargo, el payback general, el VAN, el TIR, y los porcentajes de autoconsumo y autosuficiencia son mejores.

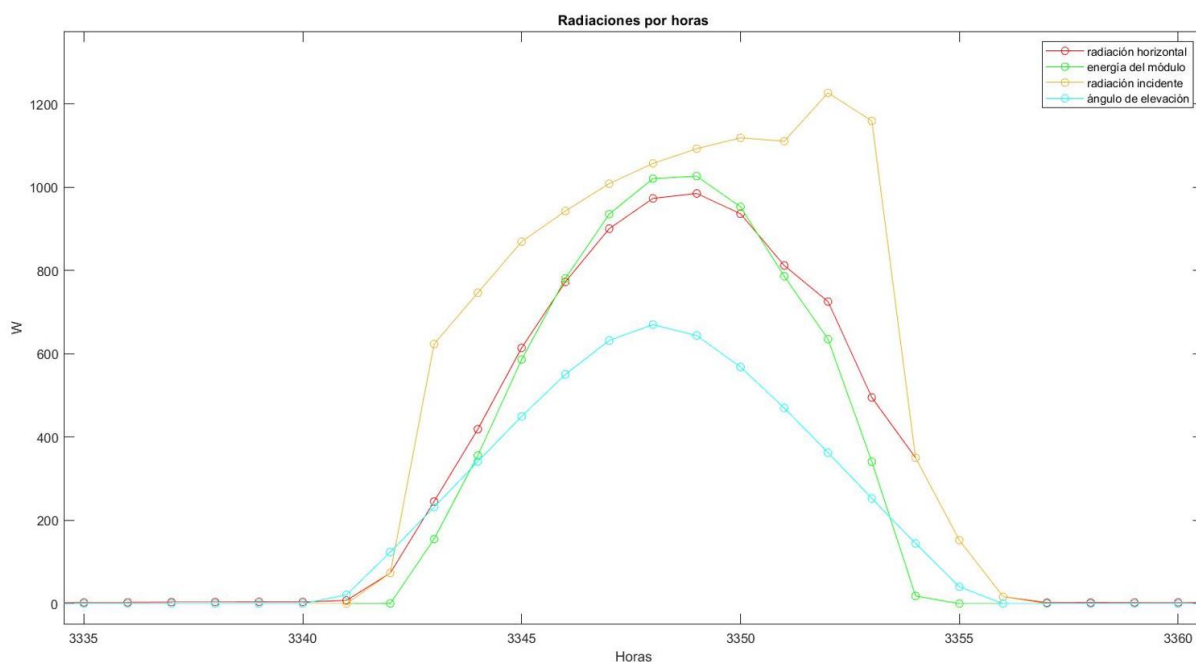
11.2 Comunidad energética 2

Para la comunidad energética 2, viendo los datos obtenidos, el caso más interesante y por lo tanto el que se va a analizar más en profundidad se muestra en la *tabla XXXIII*:

Tabla XXXIII Comunidad energética 2, detalles del caso a estudiar

Potencia (kW)	Inclinación (°)	Acimut (°)	Coeficiente de reparto	Coeficiente de inversión
5	37	183	Dinámico	Fijo. Proporcional a la energía consumida anual

En la *gráfica 16*, se muestran la radiación horizontal, el incidente y la que llega al módulo, en función del ángulo de elevación, para el caso que se está estudiando. En este caso, son datos situados entre las horas 3336 y 3360, es decir, todo el día 139 del año 2020:



Gráfica 16. Datos de la comunidad energética 2

En la *tabla XXXIV*, se muestran la energía que se coge de la red, la energía sobrante, la energía autoconsumida, el payback, el VAN, el TIR, el porcentaje de autoconsumo y el porcentaje de autosuficiencia, para la potencia seleccionada, con los diferentes coeficientes de reparto:

Tabla XXXIV Comunidad energética 2, diferentes coeficientes de reparto

Potencia (kW)	Coficiente de reparto	A (kW)	B (kW)	C (kW)	Payback (años)	VAN	TIR	Autoconsumo (%)	Autosuficiencia (%)
5	Anual	7411.9	5732.6	3069.6	16.090	3099.8	0.079	34.87	29.29
	Mensual	7380.3	5701.0	3101.1	15.760	3259.1	0.081	35.23	29.59
	Dinámico	7281.2	5601.9	3200.3	15.567	3355.0	0.082	36.36	30.53

En la *tabla XXXV*, se muestra el precio de la energía consumida anual de cada uno de los lugares que forman la comunidad energética y cuál sería el precio final de la energía consumida para cada tipo de coeficiente de reparto, con una potencia concreta:

Tabla XXXV Comunidad energética 2, precio final de la energía

Lugar		Vivienda 1	Vivienda 2	Vivienda 3	Total
Precio energía sin instalación PV (€)		228.73	80.19	114.79	423.71
Potencia (kW)	Coficiente de reparto	Precio energía con instalación PV (€)			
5	Anual	72.63	28.94	42.46	144.03
	Mensual	72.24	23.86	42.08	138.18
	Dinámico	68.77	24.34	41.53	134.64

En la *tabla XXXVI*, se muestra el payback general de la instalación y el payback individual de cada lugar, para los diferentes coeficientes de reparto:

Tabla XXXVI Comunidad energética 2, payback general e individual

	Lugar	Vivienda 1	Vivienda 2	Vivienda 3
Potencia (kW)	Coeficiente de reparto	Payback individual (años)		
5	Anual	15.584	16.950	16.573
	Mensual	15.544	15.421	16.485
	Dinámico	15.207	15.555	16.361
		Payback general (años)		
	Anual	16.090		
	Mensual	15.760		
	Dinámico	15.567		

Analizando los datos obtenidos en la comunidad energética 2, sucede algo parecido a los datos obtenidos con la comunidad energética 1. En este caso también, los mejores resultados se obtienen con el programa *main_2b*, es decir, el que aplica coeficientes de reparto dinámicos.

En la comunidad energética 1, los datos que podían fallar eran los paybacks individuales. En este caso, con coeficientes de reparto dinámicos, salen mejores datos para todo el análisis, excepto para el payback individual de la vivienda 2, con la que se obtenía mejor resultado aplicando coeficientes de reparto fijo mensual. Sin embargo, la mejora no es significativa, por lo que la mejor elección es emplear coeficientes de reparto dinámicos.

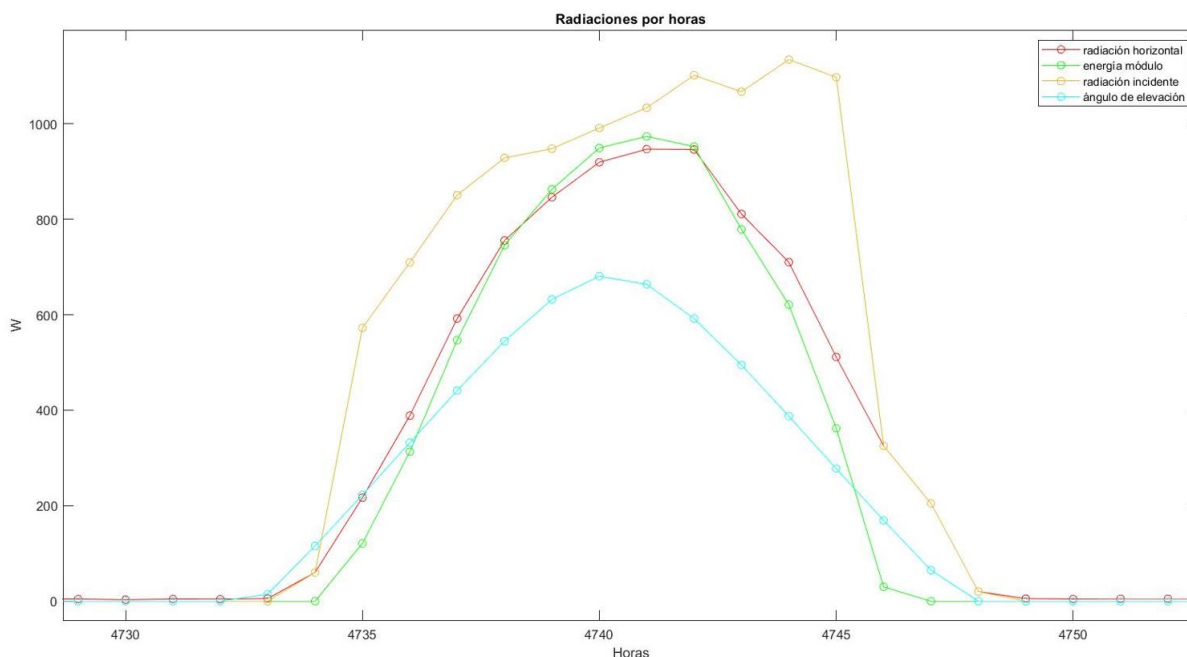
11.3 Comunidad energética 3

Para la comunidad energética 3, viendo los datos obtenidos, el caso más interesante y por lo tanto el que se va a analizar más en profundidad se muestra en la *tabla XXXVII*:

Tabla XXXVII Comunidad energética 3, detalles del caso a estudiar

Potencia (kW)	Inclinación (°)	Acimut (°)	Coeficiente de reparto	Coeficiente de inversión
12	37	183	Dinámico	Fijo. Proporcional a la energía consumida anual

En la *gráfica 17*, se muestran la radiación horizontal, el incidente y la que llega al módulo, en función del ángulo de elevación, para el caso que se está estudiando. En este caso, son datos situados entre las horas 4728 y 4752, es decir, todo el día 197 del año 2020:



Gráfica 17. Datos de la comunidad energética 3

En la *tabla XXXVIII*, se muestran la energía que se coge de la red, la energía sobrante, la energía autoconsumida, el payback, el VAN, el TIR, el porcentaje de autoconsumo y el porcentaje de autosuficiencia, para la potencia seleccionada, con los diferentes coeficientes de reparto:

Tabla XXXVIII Comunidad energética 3, diferentes coeficientes de reparto

Potencia (kW)	Coefficiente de reparto	A (kW)	B (kW)	C (kW)	Payback (años)	VAN	TIR	Autoconsumo (%)	Autosuficiencia (%)
12	Anual	8731.1	10530	4603.7	16.317	7185.7	0.078	30.42	34.52
	Mensual	8657.0	10456	4677.8	15.641	7963.2	0.082	30.91	35.08
	Dinámico	8319.3	1011.9	5015.4	15.521	8107.6	0.083	33.14	37.61

En la *tabla XXXIX*, se muestra el precio de la energía consumida anual de cada uno de los lugares que forman la comunidad energética y cuál sería el precio final de la energía consumida para cada tipo de coeficiente de reparto, con una potencia concreta:

Tabla XXXIX Comunidad energética 3, precio final de la energía

Lugar	Ayunt.	Semaf.	Korta	Clorac.	Alber.	Viv. 1	Viv. 2	Total	
Precio energía sin instalación PV (€)	491.83	47.65	44.97	94.08	19.42	228.73	80.19	1006.9	
Potencia (kW)	Coefficiente de reparto	Precio energía con instalación PV (€)							
12	Anual	165.47	13.54	18.14	28.89	7.71	80.05	31.20	345.03
	Mensual	152.92	13.43	17.75	26.12	5.62	78.38	22.17	316.42
	Dinámico	143.85	13.32	18.32	30.90	5.20	75.52	23.96	311.11

En la *tabla XL*, se muestra el payback general de la instalación y el payback individual de cada lugar, para los diferentes coeficientes de reparto:

Tabla XL Comunidad energética 3, payback general e individual

	Lugar	Ayunt.	Semaf.	Korta	Clorac.	Alber.	Viv. 1	Viv. 2
Potencia (kW)	Coeficiente de reparto	Payback individual (años)						
12	Anual	16.888	15.311	17.503	15.632	17.181	15.243	16.523
	Mensual	16.263	15.260	17.254	14.995	14.580	15.075	13.950
	Dinámico	15.839	15.212	17.626	16.127	14.153	14.794	14.394
		Payback general (años)						
	Anual	16.317						
	Mensual	15.641						
	Dinámico	15.521						

En la comunidad energética 3, ocurre lo mismo que en las dos comunidades anteriores. Los mejores datos se obtienen mediante coeficientes de reparto dinámicos, exceptuando el payback individual de la Korta, el depósito de cloración y la vivienda 2, donde existe una mejoría si se aplican coeficientes de reparto fijo mensual. Sin embargo, no son mejoras significativas, por lo que la mejor opción es aplicar coeficientes de reparto dinámicos.

ASPECTOS ECONÓMICOS

Como se ha mencionado anteriormente, para realizar los cálculos económicos, los precios para realizar la compensación de la energía han sido los del año 2020. Del mismo modo, para hacer el cálculo de la instalación, se ha optado por 0,9 €/W. En cuanto a los cálculos del VAN y el TIR, el tipo de interés se tomado como 3,5 % y la subida anual de la energía como 4,5 %.

En este mismo apartado, se van a introducir los cálculos teniendo en cuenta las ayudas que otorga el EVE, para las instalaciones con sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica. Estas ayudas aparecen en el documento "*Programa de ayudas a inversiones en instalaciones de energías renovables para autoconsumo eléctrico*" [51] y el porcentaje de ayuda sobre el coste de referencia (%) es el siguiente:

- Para instalaciones de hasta 10 kW de potencia nominal efectiva instalada: 25 %
- Para instalaciones de más de 10 kW y hasta 100 kW de potencia nominal efectiva instalada: 25 %

Es decir, para los 3 casos por los que se ha optado en este estudio, el porcentaje de ayudas sobre el coste de referencia será del 25 %.

12 COMUNIDADES ENERGÉTICAS

Por lo tanto, en este apartado se va a desglosar el payback, el VAN y el TIR, para cada una de las comunidades energéticas, con el coeficiente de reparto más adecuado.

El payback es el criterio económico que relaciona la inversión con el ahorro conseguido, fijando el número de años necesarios para recuperar la inversión.

El VAN es el criterio económico que actualiza los cobros y pagos de una inversión para saber cuánto se va a ganar o perder con la inversión.

El TIR es el criterio económico que fija la rentabilidad que ofrece una inversión.

12.1 Comunidad energética 1

Para la comunidad energética 1, la configuración que más interés puede suponer es la siguiente:

- Potencia: 9 kW
- Inclinación: 183 °
- Acimut: 37°
- Coeficiente de reparto: Dinámico
- Coeficiente de inversión: Fijo proporcional a la energía consumida anual

12.1.1 Payback

El payback para la comunidad energética 1 es el siguiente:

$$Payback = \frac{Inversión}{Ahorro}$$

$$Payback = \frac{9000 W \cdot 0.9 \frac{\text{€}}{W}}{487.85 \text{ €}} = 16.603 \text{ años}$$

12.1.2 Payback con ayudas económicas

Si se aplican las ayudas económicas del EVE, el payback para la comunidad energética 1 sería el siguiente:

$$Payback = \frac{9000 W \cdot 0.9 \frac{\text{€}}{W} \cdot (1-0.25)}{487.85 \text{ €}} = 12.452 \text{ años}$$

12.1.3 VAN

El VAN para la comunidad energética 1 es el siguiente:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t}$$

dónde:

I_0 = Inversión inicial

K = tipo de interés

F_t = ahorro anual, teniendo en cuenta la subida anual de la energía

n = número de años estudiados

$$VAN = -9000 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+0.035)^t} = 5157$$

12.1.4 VAN con ayudas económicas

Si se aplican las ayudas económicas del EVE, el VAN para la comunidad energética 1 sería el siguiente:

$$VAN = -9000 \cdot (1 - 0.25) + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+0.035)^t} = 7182$$

12.1.5 TIR

El TIR para la comunidad energética 1 es el siguiente:

$$TIR = \sum_{t=0}^n \frac{F_n}{(1+i)^n} = 0$$

$$I_0 = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^n}$$

dónde:

I_0 = Inversión inicial

n =número de años estudiados

F_t = ahorro anual, teniendo en cuenta la subida anual de la energía

$$TIR = 0.0767$$

12.1.6 TIR con ayudas económicas

Si se aplican las ayudas económicas del EVE, el TIR para la comunidad energética 1 sería el siguiente:

$$TIR = 0.1085$$

12.2 Comunidad energética 2

Para la comunidad energética 2, la configuración que más interés puede suponer es la siguiente:

- Potencia: 5 kW
- Inclinación: 183 °
- Acimut: 37°
- Coeficiente de reparto: Dinámico
- Coeficiente de inversión: Fijo proporcional a la energía consumida anual

12.2.1 Payback

El payback para la comunidad energética 2 es el siguiente:

$$Payback = \frac{Inversión}{Ahorro}$$

$$Payback = \frac{5000 \text{ W} \cdot 0.9 \frac{\text{€}}{\text{W}}}{289.07 \text{ €}} = 15.567 \text{ años}$$

12.2.2 Payback con ayudas económicas

Si se aplican las ayudas económicas del EVE, el payback para la comunidad energética 2 sería el siguiente:

$$Payback = \frac{5000 W \cdot 0.9 \frac{\text{€}}{W} \cdot (1-0.25)}{289.07 \text{ €}} = 11.675 \text{ años}$$

12.2.3 VAN

El VAN para la comunidad energética 2 es el siguiente:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t}$$

$$VAN = -5000 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+0.035)^t} = 3355$$

12.2.4 VAN con ayudas económicas

Si se aplican las ayudas económicas del EVE, el VAN para la comunidad energética 2 sería el siguiente:

$$VAN = -5000 \cdot (1 - 0.25) + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+0.035)^t} = 4480$$

12.2.5 TIR

El TIR para la comunidad energética 2 es el siguiente:

$$TIR = \sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1+i)^t} = 0$$

$$I_0 = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t}$$

$$TIR = 0.0828$$

12.2.6 TIR con ayudas económicas

Si se aplican las ayudas económicas del EVE, el TIR para la comunidad energética 2 sería el siguiente:

$$TIR = 0.1129$$

12.3 Comunidad energética 3

Para la comunidad energética 3, la configuración que más interés puede suponer es la siguiente:

- Potencia: 12 kW
- Inclinación: 183 °
- Acimut: 37°
- Coeficiente de reparto: Dinámico
- Coeficiente de inversión: Fijo proporcional a la energía consumida anual

12.3.1 Payback

El payback para la comunidad energética 3 es el siguiente:

$$Payback = \frac{Inversión}{Ahorro}$$
$$Payback = \frac{12000 W \cdot 0.9 \frac{€}{W}}{695.79 €} = 15.521 \text{ años}$$

12.3.2 Payback con ayudas económicas

Si se aplican las ayudas económicas del EVE, el payback para la comunidad energética 3 sería el siguiente:

$$Payback = \frac{12000 W \cdot 0.9 \frac{€}{W} \cdot (1-0.25)}{695.79 €} = 11.641 \text{ años}$$

12.3.3 VAN

El VAN para la comunidad energética 3 es el siguiente:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t}$$
$$VAN = -12000 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+0.035)^t} = 8107.6$$

12.3.4 VAN con ayudas económicas

Si se aplican las ayudas económicas del EVE, el VAN para la comunidad energética 3 sería el siguiente:

$$VAN = -12000 \cdot (1 - 0.25) + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+0.035)^t} = 10808$$

12.3.5 TIR

El TIR para la comunidad energética 3 es el siguiente:

$$TIR = \sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1+i)^t} = 0$$

$$I_0 = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t}$$

$$TIR = 0.0831$$

12.3.6 TIR con ayudas económicas

Si se aplican las ayudas económicas del EVE, el TIR para la comunidad energética 3 sería el siguiente:

$$TIR = 0.1132$$

12.4 Resumen

Después de analizar las 3 comunidades energéticas, se ha visto que la opción elegida en cada uno de los casos, tiene un VAN y un TIR positivo, tanto si existe ayuda económica como si no. Es por ello, que se podría decir que cualquiera de las tres comunidades sería viable. En las siguientes tablas, se hace un resumen para cada una de las comunidades energéticas.

En la *tabla XXXIX*, se visualiza cual es el gasto económico de cada comunidad energética para el caso en el que no existiese instalación de autoconsumo y como quedaría para el caso por el que se ha optado:

Tabla XLI Resumen precios

	C. Energética 1		C. Energética 2		C. Energética 3	
	Sin instalación (€)	Con instalación (€)	Sin instalación (€)	Con instalación (€)	Sin instalación (€)	Con instalación (€)
Ayuntamiento	491.83	146.39	-	-	491.83	143.85
Semáforo	47.65	12.35	-	-	47.65	13.32
Korta	44.97	17.82	-	-	44.97	18.32
Cloración	94.08	28.50	-	-	94.08	30.90
Albergue	19.42	5.04	-	-	19.42	5.20
Vivienda 1	-	-	228.73	68.77	228.73	75.52
Vivienda 2	-	-	80.19	24.34	80.19	23.96
Vivienda 3	-	-	114.79	41.53	-	-
Total	697.97	210.12	423.71	134.64	1006.9	311.11

En la *tabla XL*, se muestran los porcentajes de autoconsumo y autosuficiencia que brinda la configuración elegida para cada caso:

Tabla XLII Resumen porcentajes autoconsumo y autosuficiencia

	Autoconsumo (%)	Autosuficiencia (%)
Comunidad energética 1	31.08	36.99
Comunidad energética 2	36.36	30.53
Comunidad energética 3	33.14	37.61

En la *tabla XLI*, se compara el payback general de cada comunidad energética, sin ayudas económicas y con ayudas, para poder ver en cuantos años se reduciría la amortización de la inversión:

Tabla XLIII Resumen años payback

	C. Energética 1		C. Energética 2		C. Energética 3	
	Sin ayuda (años)	Con ayuda (años)	Sin ayuda (años)	Con ayuda (años)	Sin ayuda (años)	Con ayuda (años)
Ayuntamiento	16.732	12.549	-	-	15.839	11.879
Semáforo	15.511	11.633	-	-	15.212	11.409
Korta	18.144	13.608	-	-	17.626	13.220
Cloración	16.295	12.221	-	-	16.127	12.095
Albergue	14.673	11.005	-	-	14.153	10.615
Vivienda 1	-	-	15.207	11.405	14.794	11.095
Vivienda 2	-	-	15.555	11.666	14.394	10.795
Vivienda 3	-	-	16.361	12.271	-	-
Total	16.603	12.452	15.567	11.675	15.521	11.641

CONCLUSIONES GENERALES

Después de analizar teóricamente la situación actual del autoconsumo, las características de cada tipo, la legislación, ejemplos de casos existentes, ventajas y desventajas, realizar un programa para simular resultados y analizar la viabilidad de estos, se ha llegado a diferentes conclusiones.

Por un lado, se ha visto la necesidad que existe de implantar estas comunidades energéticas con las que conseguir cambiar el paradigma y funcionamiento actual del sistema eléctrico, a favor de un sistema descentralizado, más eficiente y más sostenible.

Por otro lado, se ha llegado a la conclusión de que el acimut y la inclinación que más energía den no tienen por qué ser los más adecuados para todas las instalaciones, ya que pueden no ser los que mejores porcentajes de autoconsumo y autosuficiencia otorguen. Es por ello, que será importante definir si lo que se pretende con un proyecto es únicamente reducir los costes económicos de la energía consumida, o quiere hacerse hincapié en los porcentajes de autoconsumo y autosuficiencia.

En cuanto a los coeficientes de reparto, se ha visto que, en la gran mayoría de ocasiones, los coeficientes de reparto dinámicos son los que mejores resultados dan.

En el apartado económico, se ha visto que los pybacks conseguidos son realistas, y más aún si se aplican las ayudas del EVE. Además de esto, se ha conseguido reducir la factura de cada una de las instalaciones, en la mayoría de los casos, además, reduciéndola a menos de la mitad.

En la mayoría de los casos, los porcentajes de autoconsumo y autosuficiencia se mantienen entorno al 35 %.

Con los resultados económicos obtenidos, se resalta la importancia de realizar un estudio adecuado a las necesidades del lugar, teniendo en cuenta los consumos y los parámetros que pueden influir en la instalación.

Además de comprobar la viabilidad de las comunidades energéticas en este trabajo, se han aportado ejemplos de comunidades existentes, por lo que se refuerza la idea de que son viables.

Finalmente, como se ha mencionado en el apartado de trabajos futuros, con la nueva tarifa, al ser la energía más cara, más rentables serán los sistemas de autoconsumo.

TRABAJOS FUTUROS

Una vez realizado este estudio, surgen nuevas posibilidades de estudio y planteamientos paralelos a este. Por ello, en este apartado se van a analizar los posibles trabajos futuros que podría hacerse, partiendo de la base de este estudio.

Por un lado, sería conveniente repetir este mismo análisis, incluyendo los precios en base a la nueva tarifa eléctrica. Para ello, habría que esperar hasta junio de 2022. Habiendo visto la subida que el precio de la energía ha tenido los últimos meses, se puede deducir que, con la nueva tarifa eléctrica, la instalación de paneles fotovoltaicos para autoconsumo saldría más rentable aún.

Por otro lado, sería conveniente introducir dentro de las comunidades energéticas PUEBLO2020 y ZALDUONDO2020 la luminaria del pueblo. En este trabajo, se ha buscado maximizar el porcentaje de autoconsumo, y teniendo en cuenta que la luminaria se enciende en la franja horaria donde no existe producción fotovoltaica, no se ha tenido en cuenta. Sin embargo, tener en cuenta la luminaria, aumentaría el consumo por lo que la energía que podría compensarse aumentaría. Es por ello, que, si se introduce la luminaria, a pesar de tener porcentajes de autoconsumo menores, el proyecto mejoraría económicamente.

Se ha visto que las 3 comunidades que se han planteado, son rentables si se hace un estudio adecuado y se realiza una instalación acorde a las necesidades. Por ello, y teniendo en cuenta que el pueblo de Zalduondo tiene pocas casas, un trabajo futuro podría ser, partir el pueblo en diferentes zonas en las que poder realizar comunidades energéticas.

Finalmente, otra opción podría ser plantear alternativas al modo en el que se ha realizado el cálculo de la inversión necesaria de cada uno. En este trabajo, se ha hecho en función del consumo anual de cada uno, viéndolo como una opción proporcional. Sin embargo, podrían aplicarse otros métodos de reparto de la inversión inicial, teniendo en cuenta los porcentajes de autoconsumo, los porcentajes de autosuficiencia, los intereses de cada consumidor...

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Enciclopedia concepto. Energía eléctrica. Disponible en: <https://concepto.de/energia-electrica/>
- [2] International Energy Agency (IEA). *Data. Energy consumption*. Disponible en: <https://www.iea.org/>
- [3] CountryMeters. *Población del mundo 1951-2020*. Disponible en: <https://countrymeters.info/es/World>
- [4] Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (ISE) & PSE GmbH. *Photovoltaics report*. (Freiburg, 27 Julio 2020). Disponible en: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>
- [5] Red Eléctrica de España. *Informe del Sistema Eléctrico Español 2020. Producción de energía eléctrica 2020*. [23/06/2021]. Disponible en: <https://www.ree.es/es/datos/publicaciones/informe-anual-sistema/informe-del-sistema-electrico-espanol-2020>
- [6] Lurthander R., Widén J., Nilsson D., Palm J. "Photovoltaic self-consumption in buildings: A review". [15/03/2015]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261914012859>
- [7] 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*. [06/04/2019]. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2019-5089
- [8] Agencia Estatal. Boletín Oficial del Estado (BOE). *Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico*. [27/12/2013]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2013-13645&p=20210521&tn=0>
- [9] Agencia Estatal. Boletín Oficial del Estado (BOE). *Ley 49/1960, de 21 de julio, sobre propiedad horizontal*. [23/07/1960]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1960-10906>
- [10] 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*. [06/10/2018]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rdl/2018/10/05/15>

[11] Agencia Estatal. Boletín Oficial del Estado (BOE). *Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo.* [10/10/2015]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2015/10/09/900/con>

[12] Agencia Estatal. Boletín Oficial del Estado (BOE). *Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.* [27/12/2000]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2000/12/01/1955/con>

[13] Agencia Estatal. Boletín Oficial del Estado (BOE). *Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia.* [08/12/2011]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2011/11/18/1699>

[14] Agencia Estatal. Boletín Oficial del Estado (BOE). *Real Decreto 222/2008, de 15 de febrero, por el que se establece el régimen retributivo de la actividad de distribución de energía eléctrica.* [18/03/2008]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2008/02/15/222>

[15] Agencia Estatal. Boletín Oficial del Estado (BOE). *Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión.* [18/09/2002]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2002/08/02/842/con>

[16] Agencia Estatal. Boletín Oficial del Estado (BOE). *Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23.* [09/06/2014]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2014/05/09/337>

[17] Agencia Estatal. Boletín Oficial del Estado (BOE). *Real Decreto 1110/2007, de 24 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico.* [18/09/2007]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2007/08/24/1110/con>

[18] Agencia Estatal. Boletín Oficial del Estado (BOE). *Real Decreto 647/2020, de 7 de julio, por el que se regulan aspectos necesarios para la implementación de los códigos de red de conexión de determinadas instalaciones eléctricas.* [08/07/2020]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2020-7439>

[19] Agencia Estatal. Boletín Oficial del Estado (BOE). *Real Decreto Legislativo 2/2004, de 5 de marzo, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley Reguladora de las Haciendas Locales.* [09/03/2004]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rdlg/2004/03/05/2/con>

[20] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). "Guía profesional de tramitación del autoconsumo". (Madrid, octubre de 2020). Disponible en: <https://www.idae.es/publicaciones/guia-profesional-de-tramitacion-del-autoconsumo>

[21] Intergia. Energía y sostenibilidad. "Nuevas tarifas eléctricas 2021: consumidores con potencia contratada hasta 15 kW (perfil residencial y PYMEs)". Escriche. C. [24/03/2021]. Disponible en: <https://www.intergia.es/nuevas-tarifas-residencial/>

- [22] Somenergía. "La nueva tarifa 2.0TD, para contratos domésticos y pequeñas empresas". [28/04/2021]. Disponible en: <https://blog.somenergia.coop/tarifas-electricidad-y-sector-electrico/tarifas-y-precios-de-la-luz/2021/04/la-nueva-tarifa-2-0td-para-contratos-domesticos-y-pequenas-empresas/>
- [23] IPCC. An ipcc special report on the impacts of global warming of 1.5c above preindustrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty; 2018.
- [24] IRENA. Future of solar photovoltaic: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects. Report IRENA. A Global Energy Transformation 2019; 2019.
- [25] REN21. Renewables 2019 global status report; 2019.
- [26] Thebault M., Daillard L. "Optimization of the integration of photovoltaic systems on buildings for self-consumption – Case study in France". [April 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590252021000027>
- [27] López Prol J., Steininger K. W. "Photovoltaic self-consumption is now profitable in Spain: Effects of the new regulation on prosumers' internal rate of return". [November 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421520305140>
- [28] Gallego-Castillo C., Heleno M., Victoria M. "Self-consumption for energy communities in Spain: A regional analysis under the new legal framework". [March 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421521000136>
- [29] EU, Propuesta de DIRECTIVA DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO COM (2016) 864 sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad (versión refundida).
- [30] EU, Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council (5076/19) on common rules for the internal market in electricity (recast) - Analysis of the final compromise text with a view to agreement. 2019.
- [31] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). "Guía para el Desarrollo de Instrumentos de Fomento de Comunidades Energéticas Locales. Documento de Trabajo". (Madrid, marzo 2019). Disponible en: https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/guia_para-desarrollo-instrumentos-fomento-comunidades-energeticas-locales-20032019.pdf
- [32] Red Eléctrica de España (REE). "Hacer posible la transición energética". (Madrid, Abril 2019). Disponible en: https://www.ree.es/sites/default/files/11_PUBLICACIONES/Documentos/Transicion_Energética.pdf
- [33] B. Solar Plaza, «Comprehensive Guide to Companies Involved in Blockchain and Energy». January 2018

- [34] Plaza C., Gil J., de Chezelles F., Strang K. A. "Distributed Solar Self-Consumption and Blockchain Solar Energy Exchanges on the Public Grid Within an Energy Community". Published in: 2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe). Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8494534>
- [35] Udalbiltza. Hartueman. "Comunidad Energética de Lasierra". Disponible en: <https://www.udalbiltza.eus/es/hartueman/comunidad-energetica-de-lasierra>
- [36] Ente Vasco de la Energía (EVE). Disponible en: <https://www.eve.eus/>
- [37] Diputación Foral de Álava. Disponible en: <https://web.araba.eus/es/>
- [38] Red Rural Nacional (RRN). Leader. Disponible en: <http://www.redruralnacional.es/leader1>
- [39] Eribi. "Lasierra, Álava. La primera Comunidad Solar de Euskadi". Disponible en: <http://eribi.com/lasierra-alava-primera-comunidad-solar-de-euskadi/>
- [40] Naciones Unidas. Objetivos de Desarrollo Sostenible. "La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible". [25/09/2015] Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- [41] Comunidades energéticas. "La comunidad energética de Esparza ha comenzado a autoconsumir su propia energía 100 % renovable". (Pamplona, 1 de diciembre de 2020). Disponible en: <https://comunidadesenergeticas.org/2020/12/la-comunidad-energetica-de-esparza-ha-comenzado-a-autoconsumir-su-propia-energia-100-renovable/>
- [42] Gobierno de España. Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. "Proyecto de orden por la que se modifica el Anexo I del Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, para la implementación de coeficientes dinámicos de reparto en autoconsumo colectivo". Disponible en: <https://energia.gob.es/es-es/Participacion/Paginas/DetalleParticipacionPublica.aspx?k=404>
- [43] El periódico de la energía. "El autoconsumo colectivo y la implementación de coeficientes de reparto dinámicos". Rubio P. [12/05/2021]. Disponible en: <https://elperiodicodelaenergia.com/el-autoconsumo-colectivo-y-la-implementacion-de-coeficientes-de-reparto-dinamicos/>
- [44] EKATE. Gestión Partagée de L' électricité Solaire
- [45] PVEducation. Disponible en: <https://www.pveducation.org/>
- [46] Máster en integración de las energías renovables en el sistema eléctrico. Apuntes de la asignatura. "Generación solar". Dr. Javier Mazón.
- [47] AulaFácil. "Ángulo cenital y la elevación solar". Disponible en: <https://www.aulafacil.com/cursos/medio-ambiente/energia-solar-termica-1/angulo-cenital-y-la-elevacion-solar-l37810>
- [48] Euskalmet, Agencia Vasca de Meteorología. Disponible en: <https://www.euskalmet.euskadi.eus/observacion/datos-de-estaciones/#>

[49] i-DE, Grupo Iberdrola. Disponible en: <https://www.i-de.es/>

[50] PVEducation. "Solar Radiation on a Tilted Surface". Disponible en: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/solar-radiation-on-a-tilted-surface>

[51] Ente Vasco de la Energía (EVE). "Programa de ayudas a inversiones en instalaciones de energías renovables para autoconsumo eléctrico". (2020). Disponible en: <https://www.eve.eus/Programa-de-ayudas/2020/Programa-de-ayudas-a-inversiones-en-instalaciones.aspx>

ANEXO 1

- **main_1b**

```
clear all
clc
close all

load("ZALDUONDO2020")
kontsumoa_horalocal=ZALDUONDO2020(:,1:7);
kontsumoaeguzkiordura

precio_compra=ZALDUONDO2020(:,9);
precio_venta=ZALDUONDO2020(:,10);

kontsumo_osa=sum(kontsumoa');

size_kontsumoa=size(kontsumoa);
a_kontsumoa=size_kontsumoa(1);
b_kontsumoa=size_kontsumoa(2);

%Inclinacion y acimut panel
inklinazioa=37;
azimuta=183;

%Coeficientes de reparto PROPORCIONAL A CONSUMO TOTAL
coeficientes_de_reparto_fijov2

Wp=0;
ekonomikoa_partekatuaV3
cost_noPV=coste_total
cost_global_noPV=coste_total_comun

%Potencia panel Wp
Wp=12000
ekonomikoa_partekatuaV3
cost_PV=coste_total
cost_global_PV=coste_total_comun

%reparto inversion
reparto_inversion_energiaconsumv2;

adierazle_ekonomikoakV3;

autoconsumo_COEF
ahorro
payback
VAN
TIRinvertido
autoconsumo_global
autosuficiencia_global

marraztu
```

- **main_2b**

```
clear all
clc
close all

load("ZALDUONDO2020")
kontsumoa_horalocal=ZALDUONDO2020(:,1:3);
kontsumoaeguzkiordura

precio_compra=ZALDUONDO2020(:,5);
precio_venta=ZALDUONDO2020(:,6);

kontsumo_osa=sum(kontsumoa');

size_kontsumoa=size(kontsumoa);
a_kontsumoa=size_kontsumoa(1);
b_kontsumoa=size_kontsumoa(2);

%Inclinacion y acimut panel
inklinazioa=37;
azimuta=180;

%Coeficientes de reparto PROPORCIONAL A CONSUMO TOTAL
coeficientes_de_reparto_dinamico;

Wp=0;
ekonomikoa_partekatuaV3
cost_noPV=coste_total
cost_global_noPV=coste_total_comun

%Potencia panel Wp
Wp=12000
ekonomikoa_partekatuaV3
cost_PV=coste_total
cost_global_PV=coste_total_comun

%reparto inversion
reparto_inversion_energiaconsumv2;

adierazle_ekonomikoakV3

autoconsumo_COEF
VAN
TIR
payback
autoconsumo_global
autosuficiencia_global

marraztu
```

- **main_3b**

```
clear all
clc
close all

load("ZALDUONDO2020")
kontsumoa_horalocal=ZALDUONDO2020(:,1:7);
kontsumoaeguzkiordura

precio_compra=ZALDUONDO2020(:,9);
precio_venta=ZALDUONDO2020(:,10);

kontsumo_osa=sum(kontsumoa');

size_kontsumoa=size(kontsumoa);
a_kontsumoa=size_kontsumoa(1);
b_kontsumoa=size_kontsumoa(2);

%Inclinacion y acimut panel
inklinazio_tarte=0:1:90;
a_inklinazioa=length(inklinazio_tarte);
azimuta=183;

%Coeficientes de reparto PROPORCIONAL A CONSUMO TOTAL
coeficientes_de_reparto_dinamico;

Wp=0;
inklinazioa=0;
ekonomikoa_partekatuaV3
cost_noPV=coste_total
cost_global_noPV=coste_total_comun

% Potencia panel Wp
Wp=12000

%reparto inversion
reparto_inversion_energiaconsumv2;

for iii=1:a_inklinazioa;
    inklinazioa=inklinazio_tarte(iii);
    ekonomikoa_partekatuaV3
    cost_PV=coste_total;
    cost_global_PV=coste_total_comun;
    adierazle_ekonomikoakV3
    autoconsumo_COEF
    payback_inkli(iii)=payback
    autoconsumo_global_inkli(iii)=autoconsumo_global;
    autosuficiencia_global_inkli(iii)=autosuficiencia_global;
    cost_global_PV_inkli(iii)=coste_total_comun;
end

figure(1)
plot(inklinazio_tarte,payback_inkli)
figure(2)
plot(inklinazio_tarte,autosuficiencia_global_inkli)
figure(3)
plot(inklinazio_tarte,autoconsumo_global_inkli)

autosuficiencia_global_MAX=0;
for i=1:a_inklinazioa
    if autosuficiencia_global_inkli(i)>autosuficiencia_global_MAX
        autosuficiencia_global_MAX=autosuficiencia_global_inkli(i);
        iMAX=i;
    end
end
inklinazioMAX=inklinazio_tarte(iMAX)

%marraztu
```

- **main_4b**

```
clear all
clc
close all

load("ZALDUONDO2020")
kontsumoa_horalocal=ZALDUONDO2020(:,1:7);
kontsumoaeguzkiordura

precio_compra=ZALDUONDO2020(:,9);
precio_venta=ZALDUONDO2020(:,10);

kontsumo_osa=sum(kontsumoa');

size_kontsumoa=size(kontsumoa);
a_kontsumoa=size_kontsumoa(1);
b_kontsumoa=size_kontsumoa(2);

% Inclinacion y acimut panel
inklinazioa=37;
azimuta_tarte=90:1:270;
a_azimuta=length(azimuta_tarte);

%Coeficientes de reparto PROPORCIONAL A CONSUMO TOTAL
coeficientes_de_reparto_dinamico;

Wp=0;
azimuta=183;
ekonomikoa_partekatuaV3
cost_noPV=coste_total
cost_global_noPV=coste_total_comun

%Potencia panel Wp
Wp=12000

%reparto inversion
reparto_inversion_energiaconsumv2;

for iii=1:a_azimuta;
    azimuta=azimuta_tarte(iii);
    ekonomikoa_partekatuaV3
    cost_PV=coste_total;
    cost_global_PV=coste_total_comun;
    adierazle_ekonomikoakV3
    autoconsumo_COEF
    payback_inkli(iii)=payback;
    autoconsumo_global_inkli(iii)=autoconsumo_global;
    autosuficiencia_global_inkli(iii)=autosuficiencia_global;
    cost_global_PV_inkli(iii)=coste_total_comun;
end

figure(1)
plot(azimuta_tarte,payback_inkli)
figure(2)
plot(azimuta_tarte,autosuficiencia_global_inkli)
figure(3)
plot(azimuta_tarte,autoconsumo_global_inkli)

autosuficiencia_global_MAX=0;
for i=1:a_azimuta
    if autosuficiencia_global_inkli(i)>autosuficiencia_global_MAX
        autosuficiencia_global_MAX=autosuficiencia_global_inkli(i);
        iMAX=i;
    end
end
azimutaMAX=azimuta_tarte(iMAX)

%marraztu
```

- **main_5b**

```
clear all
clc
close all

load("ZALDUONDO2020")
kontsumoa_horalocal=ZALDUONDO2020(:,1:7);
kontsumoaeguzkiordura

precio_compra=ZALDUONDO2020(:,9);
precio_venta=ZALDUONDO2020(:,10);

kontsumo_osa=sum(kontsumoa');

size_kontsumoa=size(kontsumoa);
a_kontsumoa=size_kontsumoa(1);
b_kontsumoa=size_kontsumoa(2);

% Inclinacion y acimut panel
%%inklinazio_tarte=0:1:90;
%%a_inklinazioa=length(inklinazio_tarte);
inklinazioa=37;
azimuta=183;

%Coeficientes de reparto PROPORCIONAL A CONSUMO TOTAL
coeficientes_de_reparto_dinamico;

Wp=0;
ekonomikoa_partekatuaV3
cost_noPV=coste_total
cost_global_noPV=coste_total_comun

%Potencia panel Wp
Wp_tarte=0:1000:20000;
a_Wp=length(Wp_tarte);

%reparto inversion
reparto_inversion_energiaconsumv2;

for iii=1:a_Wp;
    Wp=Wp_tarte(iii);
    ekonomikoa_partekatuaV3
    cost_PV=coste_total;
    cost_global_PV=coste_total_comun;
    adierazle_ekonomikoakV3
    autoconsumo_COEF
    payback_Wp(iii)=payback
    autoconsumo_global_Wp(iii)=autoconsumo_global;
    autosuficiencia_global_Wp(iii)=autosuficiencia_global;
    cost_global_PV_Wp(iii)=coste_total_comun;
end

figure(1)
plot(Wp_tarte,payback_Wp)
figure(2)
plot(Wp_tarte,autosuficiencia_global_Wp)
figure(3)
plot(Wp_tarte,autoconsumo_global_Wp)

autosuficiencia_global_MAX=0;
for i=1:a_Wp
    if autosuficiencia_global_Wp(i)>autosuficiencia_global_MAX
        autosuficiencia_global_MAX=autosuficiencia_global_Wp(i);
        iMAX=i;
    end
end
WpMAX=Wp_tarte(iMAX)

%marraztu
```

- **main_6b**

```
clear all
clc
close all

load("ZALDUONDO2020")
kontsumoa_horalocal=ZALDUONDO2020(:,1:7);
kontsumoaeguzkiordura

precio_compra=ZALDUONDO2020(:,9);
precio_venta=ZALDUONDO2020(:,10);

kontsumo_osa=sum(kontsumoa');

size_kontsumoa=size(kontsumoa);
a_kontsumoa=size_kontsumoa(1);
b_kontsumoa=size_kontsumoa(2);

% Inclinacion y acimut panel
inklinazioa=37;
azimuta=183;

%Coeficientes de reparto PROPORCIONAL A CONSUMO TOTAL
coeficientes_de_reparto_fijo_mensual

Wp=0;
ekonomikoa_partekatuaV3
cost_noPV=coste_total
cost_global_noPV=coste_total_comun

% Potencia panel Wp
Wp=3000
ekonomikoa_partekatuaV3
cost_PV=coste_total
cost_global_PV=coste_total_comun

%reparto inversion

reparto_inversion_energiaconsumv2;

adierazle_ekonomikoakV3

autoconsumo_COEF
VAN
TIR
payback
autoconsumo_global
autosuficiencia_global

marraztu
```

- irradiazioaV2**

```
%Cambio horario en 2020, en horas.
martxoa=(31+29+28)*24+3;
urria=(31+29+31+30+31+30+31+31+30+24)*24+3;

%%ORIENTACION MODULO
%beta--> Angulo inclinacion del modulo%
beta=inklinazioa*(pi/180);
%psi--> Angulo de acimut del modulo%
psi=azimuta*(pi/180);

%%LONGITUD Y LATITUD
%Longitude%
Longitude=(-2.347380); %in degree is ok
%sigma--> latitud%
sigma=42.885673*(pi/180); %RADIAN

%d--> dia del año%
for d=1:366
%B%
B=(360/365)*(d-81)*pi/180; % radian
%EoT--> Ecuación del tiempo%
EoT=9.87*sin(2*B)-7.53*cos(B)-1.5*sin(B);

%LT--> Hora local% %ordutan%
for LT=1:24
fila = (d-1) * 24 + (LT);
%ATGMT--> Diferencia de hora local% %ordutan%
if fila < martxoa
ATGMT=0; %hasta cambio de marzo 1 hora
elseif fila > urria
ATGMT=0; %desde cambio de octubre 1 hora
else
ATGMT=0; %horario verano 2 horas
end

%LSTM--> Local Standard Time Meridian%
LSTM=(15)*ATGMT; % in degree is ok
%TC--> Factor de corrección de tiempo%
TC=4*(Longitude-LSTM)+EoT;
%LST--> Tiempo solar local% %%
LST=LT+(TC/60);
LSTgorde(fila,1)=LST;
%Angulo horario% %radian%
HRA=(15*(pi/180))*(LST-12);
%delta--> Angulo de declinacion%
delta=(23.45*(pi/180))*sin(B);

%Angulo de elevacion%
alpha=asin(sin(delta)*sin(sigma)+cos(delta)*cos(sigma)*cos(HRA));

%if(alpha>0)&&(alpha<(20*pi/180))
%alpha=20*pi/180; %Valores pequeños de alpha dan valores muy elevados de radiación
incidente
%end
%Theta--> Acimut%
theta=acos((sin(delta)*cos(sigma)-cos(delta)*sin(sigma)*cos(HRA))/(cos(alpha)));
if (LST>12)
theta=pi+(pi-theta); % por la tarde el azimut es mayor que 180 (suroeste)
end
if(alpha<0)
alpha=0; % alpha toma valores negativos que no tienen sentido.
end
alphadeg(fila,1)=alpha/pi*180; %para chequear valores
thetadeg(fila,1)=theta/pi*180; %para chequear valores

%Shorizontal--> radiación horizontal%
Shorizontal=ZALDUONDO2020(fila,11);
if Shorizontal < 15
Shorizontal=0; %por la noche las medidas no son cero por error de medida
```

```
end
%Sincident--> radiación incidente%
if alpha<(20*pi/180) % si elevacion es pequeño
    Sincident=Shorizontal;
else
    Sincident=Shorizontal/sin(alpha);
end
inzidentea(fila,1)=Sincident;

%Smodule--> radición en el modulo solar%
Smodule=Sincident*(cos(alpha)*sin(beta)*cos(psi-theta)+sin(alpha)*cos(beta));
if Smodule<0
    Smodule=0;
end
EnergiaModulo(fila,1)=Smodule;

Radiacionhorizontal(fila,1)=ZALDUONDO2020(fila,11);

%Energía que se obtiene en el lugar
%Fs--> pérdidas de orientación
Fs=1;
%Pr--> Rendimiento de la instalación
Pr=0.8;
E=Wp*(Smodule/1000*Fs*Pr);
EnergiaInstalacion(fila,1)=E;

end
end
```


- **adierazle_ekonomikoakV3**

```
%ahorro_global es lo que hemos ahorrado en total en todo el año
ahorro_global=cost_global_noPV-cost_global_PV;
%ahorro es lo que hemos ahorrado en cada una de las facturas en el año
ahorro=cost_noPV-cost_PV;

%teniendo en cuenta 0.9€/w, instalaciones entre 5kw y 20kw
inversion=Wp*0.9;

a_ahorro=length(ahorro);

%Payback
for i=1:a_ahorro
    payback_IND(i)=inversion*reparto_inversion(i)/ahorro(i);
end
payback=inversion/ahorro_global;
payback
payback_IND

%VAN
%k es el tipo de interes 3.5%
k=0.035;
%f es la subida anual de la energia
f=0.085;
F1=ahorro_global;
F2=F1*(1+f);
F3=F2*(1+f);
F4=F3*(1+f);
F5=F4*(1+f);
F6=F5*(1+f);
F7=F6*(1+f);
F8=F7*(1+f);
F9=F8*(1+f);
F10=F9*(1+f);
F11=F10*(1+f);
F12=F11*(1+f);
invertido=[-inversion, F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9, F10, F11, F12];

VAN=-inversion+(F1/(1+k))+(F2/((1+k)^2))+(F3/((1+k)^3))+(F4/((1+k)^4))+(F5/((1+k)^5))+
(F6/((1+k)^6))+(F7/((1+k)^7))+(F8/((1+k)^8))+(F9/((1+k)^9))+(F10/((1+k)^10))+(F11/((1+k)^11))
+(F12/((1+k)^12));
VAN;

%TIR
TIRinvertido=irr(invertido);
TIR=TIRinvertido;
TIR;
```

- **autoconsumo_COEF**

```
for m=1:b_kontsumoa
    A_A_sum(m)=sum(A_A(:,m));
    B_B_sum(m)=sum(B_B(:,m));
    C_C_sum(m)=sum(C_C(:,m));
    autoconsumo(m)=sum(C_C(:,m))/(sum(B_B(:,m))+sum(C_C(:,m)));
    autosuficiencia(m)=sum(C_C(:,m))/(sum(A_A(:,m))+sum(C_C(:,m)));
end

A_A_s=sum(A_A_sum)
B_B_s=sum(B_B_sum)
C_C_s=sum(C_C_sum)
autoconsumo_global=C_C_s/(B_B_s+C_C_s);
autosuficiencia_global=C_C_s/(A_A_s+C_C_s);
```

- **coeficientes_de_reparto_dinamico**

```
size_kontsumoa=size(kontsumoa);
a_kontsumoa=size_kontsumoa(1);
b_kontsumoa=size_kontsumoa(2);

kontsumo_batura=sum(kontsumoa');

for i=1:b_kontsumoa
    for j=1:a_kontsumoa
        koefizientea(j,i)=kontsumoa(j,i)/kontsumo_batura(j);
    end
end
```

- **coeficientes_de_reparto_fijo_mensual**

```
size_kontsumoa=size(kontsumoa);
a_kontsumoa=size_kontsumoa(1);
b_kontsumoa=size_kontsumoa(2);

kontsumo_batura=sum(kontsumoa');

%hilabeteak, ordutan
enero_fin=(31)*24;
febrero_fin=(31+29)*24;
marzo_fin=(31+29+31)*24;
abril_fin=(31+29+31+30)*24;
mayo_fin=(31+29+31+30+31)*24;
junio_fin=(31+29+31+30+31+30)*24;
julio_fin=(31+29+31+30+31+30+31)*24;
agosto_fin=(31+29+31+30+31+30+31+31)*24;
septiembre_fin=(31+29+31+30+31+30+31+31+30)*24;
octubre_fin=(31+29+31+30+31+30+31+31+30+31)*24;
noviembre_fin=(31+29+31+30+31+30+31+31+30+31+30)*24;
diciembre_fin=(31+29+31+30+31+30+31+31+30+31+30+31)*24;
mes_fin=[enero_fin,febrero_fin,marzo_fin,abril_fin,mayo_fin,junio_fin,julio_fin,agosto_fin,
septiembre_fin,octubre_fin,noviembre_fin,diciembre_fin];
mes_inicio=[1,enero_fin+1,febrero_fin+1,marzo_fin+1,abril_fin+1,mayo_fin+1,junio_fin+1,
julio_fin+1,agosto_fin+1,septiembre_fin+1,
octubre_fin+1,noviembre_fin+1];

for i=1:12
    hasiera=mes_inicio(i);
    bukaera=mes_fin(i);
    for m=1:b_kontsumoa
        hilabeteko_consum=0;
        for j=hasiera:bukaera
            consum=kontsumoa(j,m);
            hilabeteko_consum=hilabeteko_consum+consum;
        end
        consum_mes(i,m)=hilabeteko_consum;
    end
end

for i=1:12
    hasiera=mes_inicio(i);
    bukaera=mes_fin(i);
    consum_mes_batura(i)=sum(consum_mes(i,:));
    for m=1:b_kontsumoa
        koef_mes=consum_mes(i,m)/consum_mes_batura(i);
        for j=hasiera:bukaera
            koefizientea(j,m)=koef_mes;
        end
    end
end
```

- **coeficientes_de_reparto_fijov2**

```
size_kontsumoa=size(kontsumoa);
a_kontsumoa=size_kontsumoa(1); %numero filas (horas)
b_kontsumoa=size_kontsumoa(2); %numero columnas (consumidores)

kontsumo_batura=sum(sum(kontsumoa));

for i=1:b_kontsumoa
    reparto(i)=sum(kontsumoa(:,i))/kontsumo_batura;
    for j=1:a_kontsumoa
        koefizientea(j,i)=reparto(i);
    end
end
```

- **ekonomikoa_partekatuaV3**

```
%hilabeteak, ordutan
enero_fin=(31)*24;
febrero_fin=(31+29)*24;
marzo_fin=(31+29+31)*24;
abril_fin=(31+29+31+30)*24;
mayo_fin=(31+29+31+30+31)*24;
junio_fin=(31+29+31+30+31+30)*24;
julio_fin=(31+29+31+30+31+30+31)*24;
agosto_fin=(31+29+31+30+31+30+31+31)*24;
septiembre_fin=(31+29+31+30+31+30+31+31+30)*24;
octubre_fin=(31+29+31+30+31+30+31+31+30+31)*24;
noviembre_fin=(31+29+31+30+31+30+31+31+30+31+30)*24;
diciembre_fin=(31+29+31+30+31+30+31+31+30+31+30+31)*24;
mes_fin=[enero_fin, febrero_fin, marzo_fin, abril_fin, mayo_fin, junio_fin, julio_fin, agosto_fin,
septiembre_fin, octubre_fin, noviembre_fin, diciembre_fin];
mes_inicio=[1, enero_fin+1, febrero_fin+1, marzo_fin+1, abril_fin+1, mayo_fin+1, junio_fin+1,
julio_fin+1, agosto_fin+1, septiembre_fin+1, octubre_fin+1, noviembre_fin+1];

irradiazioaV2 %se obtiene EnergiaInstalacion que da la energia producida en cada hora

for i=1:12
    hasiera=mes_inicio(i);
    bukaera=mes_fin(i);
    for m=1:b_kontsumoa
        hilabeteko_kostua=0;
        for j=hasiera:bukaera
            sobras=EnergiaInstalacion(j)*koefizientea(j,m)-kontsumoa(j,m);
            if sobras>0
                orduko_kostua=-1*sobras*precio_venta(j);
                B_B(j,m)=sobras;
                C_C(j,m)=kontsumoa(j,m);
                A_A(j,m)=0;
            else
                orduko_kostua=-1*sobras*precio_compra(j);
                C_C(j,m)=EnergiaInstalacion(j)*koefizientea(j,m);
                B_B(j,m)=0;
                A_A(j,m)=sobras*(-1);
            end
            hilabeteko_kostua=hilabeteko_kostua+orduko_kostua;
        end
        if hilabeteko_kostua<0
            hilabeteko_kostua=0;
        end
        costes_mes(i,m)=hilabeteko_kostua;
    end
end
coste_total=sum(costes_mes);
coste_total_comun=sum(coste_total);
```

- **kontsumoeguzkiordura**

```
%Cambio horario en 2020, en horas.
martxoa=(31+29+28)*24+3;
urria=(31+29+31+30+31+30+31+31+30+24)*24+3;

a_k=length(kontsumoa_horalocal)
kontsumoa=kontsumoa_horalocal;

for i=1:(a_k-1)
    if i < martxoa
        kontsumoa(i,:)=kontsumoa_horalocal(i+1,:); %hasta cambio de marzo 1 hora
    elseif i > urria
        kontsumoa(i,:)=kontsumoa_horalocal(i+1,:); %desde cambio de octubre 1 hora
    else
        kontsumoa(i,:)=kontsumoa_horalocal(i+2,:); % horario verano 2 horas
    end
end
end
```

- **marrastu**

```
figure(1)
plot(kontsumo_osea,'b-x')
hold on
plot(kontsumoa(:,1),'r')
plot(kontsumoa(:,2),'c')
plot(kontsumoa(:,3),'g')
plot(kontsumoa(:,4),'y')
plot(kontsumoa(:,5),'k')
plot(kontsumoa(:,6),'m')
plot(kontsumoa(:,7),'b')

plot(EnergiaInstalacion(:),'r-o')

figure(2)
plot(inzidentea,'y-')
hold on
plot(Radiacionhorizontal,'ro-')
plot(EnergiaModulo,'go-')

plot(alphadeg*10,'co-')
```

- **reparto_inversion_energiaconsumv2**

```
%reparto inversion

size_kontsumoa=size(kontsumoa);
a_kontsumoa=size_kontsumoa(1); %numero filas (horas)
b_kontsumoa=size_kontsumoa(2); %numero columnas (consumidores)

kontsumo_batura=sum(sum(kontsumoa));

for i=1:b_kontsumoa
    reparto_inversion(i)=sum(kontsumoa(:,i))/kontsumo_batura;
end
```

- **energía_optimoV2**

```
clear all
clc
close all

load("ZALDUONDO2020")

% Potencia panel Wp
%Wp=2000;

inklinazio_tarte=30:1:50;
azimuta_tarte=140:1:220;
a_inklinazioa=length(inklinazio_tarte);
a_azimuta=length(azimuta_tarte);

for i=1:a_inklinazioa
    for j=1:a_azimuta
        inklinazioa=inklinazio_tarte(i);
        azimuta=azimuta_tarte(j);
        irradiazioaV2
        energia(i,j)=sum(EnergiaInstalacion);
    end
end

energiaMAX=0;
for i=1:a_inklinazioa
    for j=1:a_azimuta
        if energia(i,j)>energiaMAX
            energiaMAX=energia(i,j);
            iMAX=i;
            jMAX=j;
        end
    end
end
inklinazioMAX=inklinazio_tarte(iMAX)
azimutMAX=azimuta_tarte(jMAX)

figure(1)
mesh(azimuta_tarte,inklinazio_tarte,energia)

figure(2)
plot(azimuta_tarte,energia(iMAX,:))

figure(3)
plot(inklinazio_tarte',energia(:,jMAX))
```

- **irradiazioaren_simetria**

```
clear all
clc
close all

load("ZALDUONDO2020")

% Cambio horario en 2020, en horas.
martxoa=(31+29+28)*24+3;
urria=(31+29+31+30+31+30+31+31+30+24)*24+3;

rad1=0;
rad2=0;
rad3=0;
rad4=0;
rad5=0;
rad6=0;
rad7=0;
rad8=0;
rad9=0;
```

```
rad10=0;
rad11=0;
rad12=0;
rad13=0;
rad14=0;
rad15=0;
rad16=0;
rad17=0;
rad18=0;
rad19=0;
rad20=0;
rad21=0;
rad22=0;
rad23=0;
rad24=0;

%d--> dia del año%
for d=1:366

%LT--> Hora local% %ordutan%
for LT=1:24
fila = (d-1) * 24 + (LT);
%ATGMT--> Diferencia de hora local% %ordutan%
if fila < martxoa
    ATGMT=0; %hasta cambio de marzo 1 hora
elseif fila > urria
    ATGMT=0; %desde cambio de octubre 1 hora
else
    ATGMT=0; % horario verano 2 horas
end

%LST--> Tiempo solar local% %%
LST=LT-ATGMT;
LSTgorde(fila,1)=LST;

if LST > -1.5 && LST < -0.5
    rad23=rad23+ZALDUONDO2020(fila,11);
elseif LST > -0.5 && LST < 0.5
    rad24=rad24+ZALDUONDO2020(fila,11);
elseif LST > 0.5 && LST < 1.5
    rad1=rad1+ZALDUONDO2020(fila,11);
elseif LST > 1.5 && LST < 2.5
    rad2=rad2+ZALDUONDO2020(fila,11);
elseif LST > 2.5 && LST < 3.5
    rad3=rad3+ZALDUONDO2020(fila,11);
elseif LST > 3.5 && LST < 4.5
    rad4=rad4+ZALDUONDO2020(fila,11);
elseif LST > 4.5 && LST < 5.5
    rad5=rad5+ZALDUONDO2020(fila,11);
elseif LST > 5.5 && LST < 6.5
    rad6=rad6+ZALDUONDO2020(fila,11);
elseif LST > 6.5 && LST < 7.5
    rad7=rad7+ZALDUONDO2020(fila,11);
elseif LST > 7.5 && LST < 8.5
    rad8=rad8+ZALDUONDO2020(fila,11);
elseif LST > 8.5 && LST < 9.5
    rad9=rad9+ZALDUONDO2020(fila,11);
elseif LST > 9.5 && LST < 10.5
    rad10=rad10+ZALDUONDO2020(fila,11);
elseif LST > 10.5 && LST < 11.5
    rad11=rad11+ZALDUONDO2020(fila,11);
elseif LST > 11.5 && LST < 12.5
    rad12=rad12+ZALDUONDO2020(fila,11);
elseif LST > 12.5 && LST < 13.5
    rad13=rad13+ZALDUONDO2020(fila,11);
elseif LST > 13.5 && LST < 14.5
    rad14=rad14+ZALDUONDO2020(fila,11);
elseif LST > 14.5 && LST < 15.5
    rad15=rad15+ZALDUONDO2020(fila,11);
elseif LST > 15.5 && LST < 16.5
    rad16=rad16+ZALDUONDO2020(fila,11);
elseif LST > 16.5 && LST < 17.5
```

```
rad17=rad17+ZALDUONDO2020 (fila,11);
elseif LST > 17.5 && LST < 18.5
    rad18=rad18+ZALDUONDO2020 (fila,11);
elseif LST > 18.5 && LST < 19.5
    rad19=rad19+ZALDUONDO2020 (fila,11);
elseif LST > 19.5 && LST < 20.5
    rad20=rad20+ZALDUONDO2020 (fila,11);
elseif LST > 20.5 && LST < 21.5
    rad21=rad21+ZALDUONDO2020 (fila,11);
elseif LST > 21.5 && LST < 22.5
    rad22=rad22+ZALDUONDO2020 (fila,11);
elseif LST > 22.5 && LST < 23.5
    rad23=rad23+ZALDUONDO2020 (fila,11);
elseif LST > 23.5 && LST < 24.5
    rad24=rad24+ZALDUONDO2020 (fila,11);
else
    kk=0
end
end
end

radiac=[rad1;
rad2;
rad3;
rad4;
rad5;
rad6;
rad7;
rad8;
rad9;
rad10;
rad11;
rad12;
rad13;
rad14;
rad15;
rad16;
rad17;
rad18;
rad19;
rad20;
rad21;
rad22;
rad23;
rad24];

figure(1)
plot (radiac)

radtotal=sum(radiac)

a_radiac=length(radiac);

acumulada=0;
for i=1:a_radiac
    acumulada=radiac(i)+acumulada;
    acumu(i)=acumulada;
end

figure(2)
acumu_porcentaje=acumu/radtotal*100;
plot (acumu_porcentaje)
```

ANEXO 2

A continuación, se explica el funcionamiento del programa *irradiazioaV2*, que tiene como fundamento teórico lo que se ha explicado en el *apartado 5.7 Posición del sol*. Para ello, se utiliza la matriz de datos de la tercera comunidad energética; ZALDUONDO2020:

- Se hace el cambio horario en el 2020:

```
%Cambio horario en 2020, en horas.  
martxoa=(31+29+28)*24+3;  
urria=(31+29+31+30+31+30+31+31+30+24)*24+3;
```

- Se calcula la orientación del módulo, con las variables beta (inclinación) y psi (azimut).

```
%%ORIENTACION MODULO  
%beta--> Angulo inclinacion del modulo%  
beta=inklinazioa*(pi/180);  
%psi--> Angulo de acimut del modulo%  
psi=azimuta*(pi/180);
```

Los valores de inclinación y acimut se asignan desde los programas principales.

- Se introducen como dato, las coordenadas de longitud y latitud de Zaldondo:

```
%%LONGITUD Y LATITUD  
%Longitude%  
Longitude=(-2.347380); %in degree is ok  
%sigma--> latitud%  
sigma=42.885673*(pi/180); %RADIAN
```

- Aplicando un *for* se consigue que el cálculo se realice para cada una de los días del año. Aplicando otro *for*, se consigue que el cálculo se haga para cada una de las horas de cada uno de los días del año.


```
%d--> dia del año%
for d=1:366
%B%
B=(360/365)*(d-81)*pi/180; % radian
%EoT--> Ecuación del tiempo%
EoT=9.87*sin(2*B)-7.53*cos(B)-1.5*sin(B);

%LT--> Hora local% %ordutan%
for LT=1:24
fila = (d-1) * 24 + (LT);
%ATGMT--> Diferencia de hora local% %ordutan%
if fila < martxoa
    ATGMT=0; %hasta cambio de marzo 1 hora
elseif fila > urria
    ATGMT=0; %desde cambio de octubre 1 hora
else
    ATGMT=0; % horario verano 2 horas
end
```

- Después se calculan la hora local, el factor de corrección del tiempo, el tiempo solar local, el ángulo horario y el ángulo de declinación.

```
%LSTM--> Local Standard Time Meridian%
LSTM=(15)*ATGMT; % in degree is ok
%TC--> Factor de corrección de tiempo%
TC=4*(Longitude-LSTM)+EoT;
%LST--> Tiempo solar local% %%
LST=LT+(TC/60);
LSTgorde(fila,1)=LST;
%Angulo horario% %radian%
HRA=(15*(pi/180))*(LST-12);
%delta--> Angulo de declinacion%
delta=(23.45*(pi/180))*sin(B);
```

- Una vez conseguidos el ángulo de declinación (delta), el ángulo horario (HRA) y la latitud, es posible calcular el ángulo de elevación:

```
%Angulo de elevacion%
alpha=asin(sin(delta)*sin(sigma)+cos(delta)*cos(sigma)*cos(HRA));
```

- Con el ángulo de elevación definido, se obtiene el acimut:

```
%Theta--> Acimut%
theta=acos((sin(delta)*cos(sigma)-cos(delta)*sin(sigma)*cos(HRA))/(cos(alpha)));
if (LST>12)
    theta=pi+(pi-theta); % por la tarde el azimut es mayor que 180 (suroeste)
end
if(alpha<0)
    alpha=0; % alpha toma valores negativos que no tienen sentido.
end
```

En este caso se corrige Alpha, ya que en ocasiones toma valores negativos que no tienen sentido.

- Se le llama al archivo .m citado anteriormente. En este caso, el archivo que contiene los datos de los consumos, las radiaciones horizontales y los precios, se llama *ZALDUONDO2020.m*. Se llama a todos los datos de la columna 11, que son las radiaciones horizontales ($S_{horizontal}$). Se corrigen los datos, ya que, por error de medición de los aparatos situados en Salvatierra, durante la noche, la radiación no es cero, es un número próximo a este, pero si no se convierte a cero, da error en los siguientes pasos:

```
%Shorizontal--> radiación horizontal%
Shorizontal=ZALDUONDO2020(fila,11);
if Shorizontal < 15
    Shorizontal=0; %error de medida
end
%Sincident--> radiación incidente%
if alpha<(20*pi/180) % si elevacion es pequeño
    Sincident=Shorizontal;
else
    Sincident=Shorizontal/sin(alpha);
end
inzidentea(fila,1)=Sincident;
```

Con estos pasos, se consigue los datos de radiación incidente ($S_{incident}$).

- Finalmente, se consigue la radiación que llega al módulo (S_{module}):

```
%Smodule--> radición en el modulo solar%
Smodule=Sincident*(cos(alpha)*sin(beta)*cos(psi-theta)+sin(alpha)*cos(beta));
if Smodule<0
    Smodule=0;
end
EnergiaModulo(fila,1)=Smodule;
```

Esta información se almacena en una matriz, para que los programas principales puedan hacer uso de ella, a la hora de hacer los diferentes cálculos.

- Con esto se puede calcular la energía que se obtiene de una instalación, en el mejor de sus casos. Para ello, el rendimiento de la instalación se ha fijado en un 80 %.

```
%Energía que se obtiene en el lugar
%Fs--> pérdidas de orientación
Fs=1;
%Pr--> Rendimiento de la instalación
Pr=0.8;
E=Wp*(Smodule/1000*Fs*Pr);
EnergiaInstalacion(fila,1)=E;
```