

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN  
INVESTIGACIÓN EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y  
SOSTENIBILIDAD EN EDIFICACIÓN Y URBANISMO**

## **TRABAJO FIN DE MÁSTER**

***BARRIOS DE BALANCE ENERGÉTICO CASI NULO  
(NZEN): DIRECTRICES PARA LA INTEGRACIÓN  
DE ENERGÍAS RENOVABLES Y DISEÑO DE  
REDES DE ENERGÍA DISTRIBUIDA A ESCALA DE  
BARRIO***

<b>Estudiante</b>	<i>Zirion, Martinez de Musitu, Maitane</i>
<b>Director/Directora</b>	<i>Grijalba, Aseguinolaza, Olatz Hernandez, Munguillon, Rufino Javier</i>
<b>Departamento</b>	<i>Arquitectura</i>
<b>Curso académico</b>	<i>2020-2021</i>

*Bilbao, 25, 06, 2021*

# ÍNDICE

<b>1. RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>3</b>
<b>3. CONTEXTO</b> .....	<b>4</b>
<b>3.1. LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA</b> .....	<b>4</b>
<b>3.2. INTRODUCCIÓN HISTÓRICA DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA</b> .....	<b>4</b>
<b>3.3. EL PAPEL DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN ESPAÑA</b> .....	<b>5</b>
<b>3.4. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA</b> .....	<b>5</b>
<b>3.5. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS</b> .....	<b>6</b>
3.5.1. <i>Silicio monocristalino:</i> .....	<b>7</b>
3.5.2. <i>Silicio policristalino:</i> .....	<b>7</b>
3.5.3. <i>Células de película fina (thin films):</i> .....	<b>8</b>
3.5.4. <i>Células de alto rendimiento:</i> .....	<b>9</b>
<b>3.6. INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS</b> .....	<b>9</b>
<b>3.7. INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA</b> .....	<b>9</b>
3.7.1. <i>Cubiertas horizontales:</i> .....	<b>10</b>
3.7.2. <i>Cubiertas inclinadas:</i> .....	<b>10</b>
3.7.3. <i>Parasoles:</i> .....	<b>11</b>
3.7.4. <i>Muros cortina:</i> .....	<b>12</b>
3.7.5. <i>Integración en ventanas:</i> .....	<b>12</b>
3.7.6. <i>Integración en fachadas ventiladas:</i> .....	<b>13</b>
<b>4. ESTADO DEL ARTE</b> .....	<b>14</b>
<b>4.1. LAS MICRORREDES</b> .....	<b>14</b>
4.1.1. <i>Tipología de microrredes:</i> .....	<b>14</b>
4.1.2. <i>Componentes de las microrredes:</i> .....	<b>15</b>
4.1.3. <i>Ventajas y desventajas de las microrredes:</i> .....	<b>15</b>
<b>4.2. ALGORITMOS PARA LA CONFIGURACIÓN DE MICRORREDES</b> .....	<b>16</b>
4.2.1. <i>Modelo de optimización de microrredes:</i> .....	<b>17</b>
4.2.2. <i>Clasificación de modelos de optimización de microrredes:</i> .....	<b>18</b>
4.2.3. <i>Antecedentes de los modelos de optimización de microrredes:</i> .....	<b>19</b>
4.2.4. <i>Comparación de modelos de optimización de microrredes:</i> .....	<b>19</b>
<b>5. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL TRABAJO</b> .....	<b>23</b>
<b>6. BENEFICIOS QUE APORTA EL TRABAJO</b> .....	<b>24</b>
<b>7. METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO</b> .....	<b>25</b>
<b>7.1. FASES Y MÉTODOS SEGUIDOS</b> .....	<b>25</b>
7.1.1. <i>Estado el arte:</i> .....	<b>25</b>
7.1.2. <i>Cálculo de la captación de energía:</i> .....	<b>25</b>
7.1.3. <i>Cálculo de la demanda:</i> .....	<b>26</b>
7.1.4. <i>Estudio de alternativas:</i> .....	<b>26</b>
<b>7.2. CASO DE ESTUDIO</b> .....	<b>26</b>

7.2.1.	<i>Descripción y localización:</i> .....	26
7.2.2.	<i>Condiciones climáticas:</i> .....	28
7.2.3.	<i>Datos de radiación:</i> .....	29
7.2.4.	<i>Características de las cubiertas:</i> .....	30
7.2.5.	<i>Selección de las fachadas:</i> .....	31
<b>8.</b>	<b>CÁLCULOS</b> .....	<b>33</b>
<b>8.1.</b>	<b>CÁLCULO DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA</b> .....	<b>33</b>
8.1.1.	<i>Inclinación de los paneles fotovoltaicos:</i> .....	33
8.1.2.	<i>Distancia mínima entre los paneles fotovoltaicos:</i> .....	33
8.1.3.	<i>Generación de los paneles fotovoltaicos:</i> .....	36
8.1.4.	<i>Elección de las cubiertas en función de su generación eléctrica:</i> .....	38
8.1.5.	<i>Elección de las fachadas en función de su generación eléctrica:</i> .....	40
8.1.6.	<i>Modelización de la instalación fotovoltaica:</i> .....	42
<b>8.2.</b>	<b>CÁLCULO DE LAS POSIBLES DEMANDAS</b> .....	<b>43</b>
<b>9.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>44</b>
<b>9.1.</b>	<b>ALTERNATIVA 1: COMUNIDAD ENERGÉTICA PARA EL AUTOCONSUMO EN VIVIENDAS</b> .....	<b>44</b>
9.1.1.	<i>Venta de la energía generada:</i> .....	45
9.1.2.	<i>Abastecimiento del consumo eléctrico de las viviendas:</i> .....	47
9.1.3.	<i>Abastecimiento del consumo eléctrico de la comunidad:</i> .....	49
9.1.4.	<i>Abastecimiento del agua caliente sanitaria del barrio:</i> .....	51
9.1.5.	<i>Abastecimiento de una estación de carga de coches eléctricos:</i> .....	53
9.1.6.	<i>Abastecimiento de estación de carga de bicicletas eléctricas</i> .....	58
<b>9.2.</b>	<b>ALTERNATIVA 2: COMUNIDAD ENERGÉTICA PARA EL AUTOCONSUMO EN VIVIENDAS Y OTROS USOS COMUNITARIOS</b> .....	<b>60</b>
9.2.1.	<i>Abastecimiento de estación de carga de vehículos eléctricos:</i> .....	60
9.2.2.	<i>Abastecimiento del consumo de la comunidad y de una estación de bicicletas eléctricas:</i> 61	
9.2.3.	<i>Abastecimiento del consumo de la comunidad y una estación de 20 coches eléctricos:</i> .	61
9.2.4.	<i>Abastecimiento del consumo de la comunidad y una estación de vehículos eléctricos:</i> ..	62
9.2.5.	<i>Abastecimiento del consumo de ACS y una estación de vehículos eléctricos:</i> .....	63
<b>9.3.</b>	<b>ALTERNATIVA 3: COMUNIDAD ENERGÉTICA PARA EL AUTOCONSUMO EN VIVIENDAS Y EMPRESAS LOCALES</b> .....	<b>65</b>
9.3.1.	<i>Instalación fotovoltaica en las cubiertas del barrio:</i> .....	67
9.3.2.	<i>Instalación fotovoltaica en las cubiertas del barrio y empresa:</i> .....	69
<b>9.4.</b>	<b>ALTERNATIVA ÓPTIMA PARA EL BARRIO DE BASAUNDI</b> .....	<b>71</b>
<b>10.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>76</b>
<b>11.</b>	<b>FUTURAS INVESTIGACIONES</b> .....	<b>78</b>
<b>12.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>80</b>

## TABLA DE ILUSTRACIONES

1. Imagen: Panel fotovoltaico de silicio monocristalino. Fuente: [14].....	7
2. Imagen: Panel fotovoltaico de silicio policristalino. Fuente: [16].....	8
3. Imagen: Panel fotovoltaico de película fina. Fuente: [18].....	8
4. Imagen: Instalación fotovoltaica en cubierta horizontal. Fuente: [19].....	10
5. Imagen: Instalación fotovoltaica en cubierta inclinada. Fuente: [19].....	11
6. Imagen: Instalación fotovoltaica en parasoles. Fuente: [19].....	11
7. Imagen: Integración fotovoltaica en muros cortina. Fuente: [25].....	12
8. Imagen: Integración fotovoltaica en ventanas. Fuente: [25].....	12
9. Imagen: Integración fotovoltaica en fachadas ventiladas. Fuente: [23].....	13
10. Imagen: Clasificación de microrredes en función del tipo de bus. Fuente: [27].....	14
11. Imagen: Sistema lineal. Fuente:[53].....	18
12. Imagen: Sistema no lineal. Fuente:[54].....	18
13. Imagen: Ubicación del barrio Basaundi, en Lasarte, Guipúzcoa. Fuente: Elaboración propia adaptado de Google Earth.....	27
14. Imagen: Ubicación del barrio Basaundi, en Lasarte, Guipúzcoa. Fuente: Elaboración propia adaptado de Google Earth.....	27
15. Imagen: Vista aérea del barrio Basaundi Bailara. Fuente: [62].....	28
16. Imagen: Distribución de las provincias por zonas climáticas, IDAE. Fuente: [63].....	28
17. Imagen: Horas de luz visible durante el día en Basaundi Bailara. Fuente: [64].....	29
18. Imagen: Radiación recibida el 21 de junio a las 16:00 en Basaundi Bailara (GRASS). Fuente: Elaboración propia.....	30
19. Imagen: Distribución de los edificios del barrio en función de su tipología. Fuente: Elaboración propia adaptado de Google Earth.....	30
20. Imagen: Elección de las fachadas orientadas al norte. Fuente: Elaboración propia adaptado de Google Earth.....	31
21. Imagen: Elección de las fachadas orientadas al sur. Fuente: Elaboración propia adaptado de Google Earth.....	31
22. Imagen: Elección de las fachadas orientadas al oeste. Fuente: Elaboración propia adaptado de Google Earth.....	32
23. Imagen: Elección de las fachadas orientadas al este. Fuente: Elaboración propia adaptado de Google Earth.....	32
24. Imagen: Eficiencia de los paneles fotovoltaicos en función de su orientación e inclinación. Fuente: [66].....	33
25. Imagen: Distancia mínima entre paneles fotovoltaicos en cubiertas horizontales. Fuente: [68].....	34
26. Imagen: Distancia mínima entre paneles fotovoltaicos en cubiertas inclinadas. Fuente: [67].....	34
27. Imagen: Distribución de los edificios del barrio en función de su tipología. Fuente: Elaboración propia adaptado de Google Earth.....	35
28. Imagen: Radiación de cada cubierta en junio, abril y diciembre. Fuente: Elaboración propia.....	37
29. Imagen: Generación fotovoltaica en junio, abril y diciembre. Fuente: Elaboración propia.....	37
30. Imagen: Distribución de los edificios del barrio en función de su tipología. Fuente: Elaboración propia adaptado de Google Earth.....	38
31. Imagen: Plano con la caracterización de las cubiertas del barrio en función de su generación eléctrica hecho en Autocad. Fuente: Elaboración propia.....	39
32. Imagen: generación fotovoltaica de las cubiertas elegidas durante el año. Fuente: Elaboración propia.....	40
33. Imagen: Elección y enumeración de las fachadas orientadas al sur. Fuente: Elaboración propia adaptado de Google Earth.....	40
34. Imagen: Elección y enumeración de las fachadas orientadas al norte. Fuente: Elaboración propia adaptado de Google Earth.....	41
35. Imagen: Elección y enumeración de las fachadas orientadas al oeste. Fuente: Elaboración propia adaptado de Google Earth.....	41

36. Imagen: Elección y enumeración de las fachadas orientadas al este. Fuente: Elaboración propia adaptado de Google Earth. ....	41
37. Imagen: Plano de la instalación fotovoltaica en las cubiertas del barrio hecho en Autocad. Fuente: Elaboración propia.....	43
38. Imagen: Generación fotovoltaica de todas las cubiertas durante el día. Fuente: Elaboración propia. ....	44
39. Imagen: Generación fotovoltaica de las cubiertas elegidas durante el día. Fuente: Elaboración propia. ....	45
40. Imagen: Comparación entre la generación eléctrica de una instalación fotovoltaica y la demanda eléctrica de las viviendas. Fuente: [69].....	46
41. Imagen: Esquema del funcionamiento de la opción de verter la energía generada a red. Fuente: Elaboración propia.....	47
42. Imagen: Comparación del consumo eléctrico de una vivienda según la estación. Fuente: [70] .....	48
43. Imagen: Consumo eléctrico de una vivienda durante el día en verano e invierno. Fuente: Elaboración propia. ....	48
44. Imagen: Comparación entre la generación fotovoltaica y el consumo eléctrico en las viviendas de Basaundi. Fuente: Elaboración propia.....	49
45. Imagen: Consumo eléctrico de la comunidad durante el día. Fuente: Elaboración propia. ....	50
46. Imagen: Comparación entre la generación fotovoltaica y el consumo eléctrico de la comunidad de Basaundi. Fuente: Elaboración propia. ....	50
47. Imagen: Consumo de ACS de 215 habitantes durante el día. Fuente: [71] .....	51
48. Imagen: Consumo de ACS de la vecindad de Basaundi durante el día. Fuente: Elaboración propia. ....	52
49. Imagen: Comparación entre la generación fotovoltaica y el consumo de ACS de las viviendas de Basaundi. Fuente: Elaboración propia.....	53
50. Imagen: Comparación entre la generación fotovoltaica de Basaundi y el consumo de un punto de carga de 150 coches eléctricos. Fuente: Elaboración propia. ....	54
51. Imagen: Comparación entre la generación fotovoltaica de Basaundi y el consumo de un punto de carga de 50 coches eléctricos. Fuente: Elaboración propia. ....	55
52. Imagen: Comparación entre la generación fotovoltaica de Basaundi y el consumo de un punto de carga de 20 coches eléctricos. Fuente: Elaboración propia. ....	55
53. Imagen: Posible ubicación de la estación de carga de vehículos eléctricos. Fuente: Elaboración propia. ....	56
54. Imagen: Posible ubicación de la estación de carga de vehículos eléctricos. Fuente: Elaboración propia adaptado de Google Earth. ....	57
55. Imagen: Sistema de control de carga de vehículos. Fuente:[79].....	58
56. Imagen: Comparación entre la generación fotovoltaica y el consumo de un punto de carga de 30 bicicletas eléctricas en Basaundi. Fuente: Elaboración propia. ....	59
57. Imagen: Posibles ubicaciones para la estación de carga de bicicletas eléctricas en Basaundi. Fuente: Elaboración propia. ....	59
58. Imagen: Comparación entre la generación fotovoltaica y el consumo de una estación de vehículos eléctricos en Basaundi. Fuente: Elaboración propia.....	60
59. Imagen: Comparación entre la generación fotovoltaica y el consumo eléctrico de la comunidad y una estación de bicicletas eléctricas en Basaundi. Fuente: Elaboración propia.61	61
60. Imagen: Comparación entre la generación fotovoltaica y el consumo eléctrico de la comunidad y una estación de coches eléctricos en Basaundi. Fuente: Elaboración propia. ..	62
61. Imagen: Comparación entre la generación fotovoltaica y el consumo eléctrico de la comunidad y una estación de vehículos eléctricos en Basaundi. Fuente: Elaboración propia.63	63
62. Imagen: Comparación entre la generación fotovoltaica en verano y el consumo de ACS de las viviendas y una estación de vehículos eléctricos en Basaundi. Fuente: Elaboración propia. ....	64
63. Imagen: Comparación entre la generación fotovoltaica en invierno y el consumo de una estación de vehículos eléctricos en Basaundi. Fuente: Elaboración propia.....	65
64. Imagen: Ubicación de la empresa Setalde en Lasarte. Fuente: Elaboración propia adaptado de Google Earth.....	66
65. Imagen: Esquema del funcionamiento de la comunidad energética conjunta con una empresa. Fuente: Elaboración propia.....	67

66. Imagen: Comparación entre la generación fotovoltaica de Basaundi y el consumo eléctrico de la empresa. Fuente: Elaboración propia. ....	68
67. Imagen: Comparación entre la generación fotovoltaica de Basaundi y el consumo eléctrico de la empresa Setalde y las viviendas del barrio. Fuente: Elaboración propia. ....	68
68. Imagen: Generación fotovoltaica en las cubiertas de Basaundi y la empresa Setalde. Fuente: Elaboración propia. ....	69
69. Imagen: Comparación entre la generación fotovoltaica de Basaundi y la empresa y el consumo eléctrico de la empresa. Fuente: Elaboración propia. ....	70
70. Imagen: Comparación entre la generación fotovoltaica de Basaundi y la empresa y su consumo eléctrico. Fuente: Elaboración propia. ....	70
71. Imagen: Esquema del funcionamiento de la comunidad energética. Fuente: Elaboración propia. ....	71
72. Imagen: Esquema multifilar del resultado final. Fuente: Elaboración propia. ....	73
73. Imagen: Esquema unifilar del resultado final. Fuente: Elaboración propia. ....	74

# 1. RESUMEN

Durante los últimos años, se ha visto un gran aumento del uso de combustibles fósiles, lo cual implica un crecimiento de los gases de efecto invernadero que afecta directamente al cambio climático. Con la intención de frenar este problema, desde hace años, los países del mundo han comenzado a tomar medidas y objetivos a futuro para garantizar la reducción del uso de combustibles fósiles y gases de efecto invernadero, por medio de la integración de tecnologías más respetuosas con el medio ambiente, como las energías renovables.

Asimismo, las microrredes, las cuales están basadas en fuentes de energías renovables, han resultado ser un factor atractivo en la descarbonización de las zonas residenciales, gracias a sus numerosas ventajas, entre las que se encuentran: la fiabilidad del servicio eléctrico, mejora de calidad de la energía, reducción de costes y mejora de la sostenibilidad.

En este trabajo se presenta el análisis para el diseño de una comunidad energética de autoconsumo en el barrio Basaundi Bailara, de Lasarte, Guipúzcoa. En este se analiza el dimensionamiento de una instalación fotovoltaica para abastecer parte del consumo eléctrico de la vecindad del barrio y se presenta un estudio sobre las posibles opciones del uso de la energía generada en la instalación. El objetivo del proyecto es la regeneración del barrio y la creación de una comunidad energética que aproveche la energía generada al máximo y produzca un ahorro energético y económico.

Azken urteotan, erregai fosilen erabilera asko handitu da eta horrek klima aldaketari zuzenean eragiten dioten berotegi efektuko gasen hazkundera suposatzen du. Arazo hau gelditzeko asmoarekin, munduko herrialdeek urteak daramatzate erregai fosilen eta berotegi-efektuko gasen erabilera murriztea bermatzeko neurriak eta etorkizuneko helburuak hartzen, ingurumenarekiko errespetuzko teknologien integrazioaren bidez, esate baterako, energia berriztagarrien integrazioaren bidez.

Era berean, energia berriztagarrietan oinarritutako mikrosareak bizitegi-eremuak deskarbonizatzeko faktore erakargarriak izan dira, haien abantaila anitzei esker, besteak beste: zerbitzu elektrikoaren fidagarritasuna, energiaren kalitatearen hobetzea, kostuen murrizketa eta jasangarritasunaren hobetzea.

Artikulu honetan Basaundi Bailara auzoan (Lasarte, Gipuzkoa) autokontsumorako energia-komunitate baten diseinurako analisia aurkezten da. Honetan, auzoko bizilagunen kontsumo elektrikoaren zati bat hornitzeko instalazio fotovoltaiko baten dimentsionamendua aztertzen da eta instalazioan sortutako energia erabiltzeko dauden aukerei buruzko azterketa aurkezten da. Proiektuaren xedea auzoa birsortzea da eta sortutako energiari etekin osoa ateratzen dion eta aurrezpen ekonomiko eta energetikoa lortzen duen energia komunitate bat sortzea da.

In recent years, there has been a large increase in the use of fossil fuels, which implies a growth in greenhouse gases that directly affects climate change. With the intention of curbing this problem, for years, the countries of the world have begun to take measures and prepare future objectives to guarantee the reduction of the use of fossil fuels and greenhouse gases, through the integration of more environmentally friendly technologies, such as renewable energy.

Likewise, microgrids, which are based on renewable energy sources, have turned out to be an attractive factor in the decarbonization of residential areas, thanks to their numerous advantages, among which are: the reliability of the electrical service, quality improvement of energy, cost reduction and improvement of sustainability.

This paper presents the analysis of the design of an energy community for self-consumption in the Basaundi Bailara neighbourhood, in Lasarte, Guipúzcoa. In this work, the dimensioning of a photovoltaic installation to supply part of the electrical consumption of the neighbourhood residents is analyzed. It is also presented a study on the possible options for the use of the generated energy by the installation. The objective of the project is the regeneration of the neighbourhood and the creation of an energy community that takes full advantage of the generated energy and produces energy and economic savings.

**Palabras clave:** Instalación fotovoltaica, comunidad energética, autoconsumo.

## 2. INTRODUCCIÓN

La energía fotovoltaica es una de las energías renovables más utilizadas en España. Durante los últimos años, con la intención de reducir el consumo energético en las ciudades, se ha desarrollado la integración de la energía fotovoltaica en los edificios, cuyo uso destaca en tener numerosas ventajas. De este modo, se han realizado numerosos proyectos de instalación de sistemas solares en las ciudades, sobre todo en las cubiertas de los edificios. Con el objetivo de reducir el consumo de combustibles fósiles, haciendo frente a la crisis climática y el efecto Urban Heat Island (UHI), y mejorando la calidad de vida de los residentes.

Este trabajo forma parte de un proyecto de regeneración del barrio Basaundi Bailara de Lasarte, que empezó hace unos años. Por ahora se ha conseguido peatonalizar al completo las calles del barrio, creando un parque infantil, y uniendo el barrio y consiguiendo un espacio más cómodo y habitable. A continuación, se quiere realizar una regeneración de las fachadas de los edificios del barrio, aumentando su aislamiento, mejorando su eficiencia, y mejorándolos estéticamente al mismo tiempo. También se pretende añadir un ascensor en cada edificio, mejorando la calidad de vida de los habitantes. Por último, se quiere crear una comunidad energética de autoconsumo en el barrio, que posibilite a los vecinos y vecinas abastecer parte de su consumo eléctrico, dotándoles de un ahorro económico.

El presente proyecto tiene como objetivo el estudio de alternativas para el diseño y dimensionamiento de una instalación fotovoltaica para el barrio Basaundi de Lasarte, Gipuzkoa. El proyecto analiza el dimensionamiento de la instalación y estudia diferentes modos de uso de la energía generada por la instalación fotovoltaica. Todo esto, se realiza con el fin de conseguir una instalación de autoconsumo eficiente, que conlleve un ahorro tanto energético como económico. Para ello, se realiza una descripción técnica de las condiciones y los componentes de la instalación solar, así como la justificación para su elección. También se analizan diferentes opciones para el uso de la energía generada, con sus pros y sus contras, para elegir la configuración que aproveche al máximo la energía conseguida por la instalación.

Por último, se plantean los criterios para crear el algoritmo de gestión energética en el autoconsumo de este caso de estudio y los factores que lo influyen. Se tiene como objetivo llevar a cabo una segunda fase de este proyecto, en la que se analice más concretamente el diseño del algoritmo.

## 3. CONTEXTO

### 3.1. LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica es una tecnología que se basa en el efecto fotovoltaico, que consiste en la conversión directa de la radiación solar en electricidad por medio de un dispositivo denominado célula fotovoltaica, causado por el fenómeno físico de interacción de la radiación luminosa con los electrones en los materiales semiconductores. [1]

Uno de los factores más importantes de estos sistemas es que aprovechan la energía solar, y el sol es una fuente inagotable de energía que, además de ser limpia, posee la ventaja de estar disponible en toda la superficie del planeta, a mayor o menor grado. Asimismo, otras características significativas de estos sistemas pueden ser: la simplicidad del sistema, la fácil instalación, el funcionamiento silencioso, la fiabilidad, el escaso mantenimiento, la larga vida útil y las ventajas medioambientales que conlleva.

Sin embargo, la producción de energía por medio de estos sistemas depende de ciertos factores, como pueden ser la tecnología fotovoltaica utilizada, la localización geográfica, parámetros meteorológicos (nubosidad, humedad y temperatura), la orientación e inclinación de los módulos, las pérdidas por sombras, etc. [2]

Además, para aumentar el uso de estas tecnologías como solución complementaria a los sistemas tradicionales de suministro eléctrico, se cree de vital importancia superar ciertas barreras:[3]

- Barrera económico-financiera: Reducción de costes de fabricación y precio final de la instalación.
- Barreras estéticas: Integración de los elementos fotovoltaicos en los edificios y en los entornos rural y urbanos.

### 3.2. INTRODUCCIÓN HISTÓRICA DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA

El efecto fotovoltaico fue reconocido por primera vez en 1839 por el físico francés Alexandre-Edmond Becquerel.

Pocos años más tarde, en 1877, El inglés William Grylls Adams profesor de Filosofía Natural en la King College de Londres, junto con su alumno Richard Evans Day, crearon la primera célula fotovoltaica de selenio. Aunque en todos estos descubrimientos la cantidad de electricidad que se obtenía era muy reducida y quedaba descartada cualquier aplicación práctica, se demostraba la posibilidad de transformar la luz solar en electricidad por medio de elementos sólidos sin partes móviles [4].

La posibilidad de una aplicación práctica del fenómeno no llegó hasta 1953 cuando Gerald Pearson de Bell Laboratories, mientras experimentaba con las aplicaciones en la electrónica del silicio, fabricó casi accidentalmente una célula fotovoltaica basada

en este material que resultaba mucho más eficiente que cualquiera hecha de selenio. A partir de este descubrimiento, otros dos científicos también de Bell, Daryl Chaplin y Calvin Fuller perfeccionaron este invento y produjeron células solares de silicio capaces de proporcionar suficiente energía eléctrica como para que pudiesen obtener aplicaciones prácticas de ellas.

Pese a los avances técnicos alcanzados en el aumento del rendimiento de las células, los costes eran excesivamente altos y limitaban enormemente su aplicación práctica.

Esta situación cambió cuando a principios de los años 70, importante rebaja de los costos. Empezara a ser económicamente viable en instalaciones aisladas de la red eléctrica. Desde 1958 y hasta la primera crisis del petróleo en 1973, los sistemas FV tuvieron principalmente aplicación en los campos espacial, de las telecomunicaciones y militar. Pero la crisis del petróleo durante la década del 70 impulsó el desarrollo de la tecnología fotovoltaica para usos terrestres [5].

Desde mediados de la década del 90 las actividades en el campo FV recibieron un renovado impulso, esta vez gracias a la creciente presión ecologista de la sociedad. Más recientemente, en la década de los 90 y en los primeros años del Siglo XXI, las células fotovoltaicas han experimentado un continuo descenso en su coste junto con una ligera mejora de su eficiencia. Estos factores, unidos al apoyo por parte de algunos gobiernos hacia esta tecnología, ha provocado un espectacular impulso de la electricidad solar en los últimos años. [6]

### **3.3. EL PAPEL DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN ESPAÑA**

La energía solar fotovoltaica es la segunda tecnología renovable con mayor desarrollo en España. No obstante, la evolución de la potencia instalada para la producción de electricidad con energía solar fotovoltaica ha estado condicionada por la política energética del Gobierno de España.

De este modo, las plantas fotovoltaicas de gran escala fueron impulsadas y, por este motivo, las grandes plantas fotovoltaicas sobre suelo han sido el modelo mayoritario en España [7]. Aunque la fotovoltaica a gran escala sea capaz de producir grandes cantidades de energía, esta tiene sus inconvenientes. Para empezar, para recolectar energía solar a gran escala se requiere grandes extensiones de terreno, y esto también conlleva un gran impacto visual. Además, estas instalaciones de gran tamaño necesitan una inversión muy alta que, generalmente, solo pueden permitirse grandes empresas. El diseño técnico y económico de estas plantas es necesario para lograr la rentabilidad deseada. Asimismo, este tipo de plantas suelen estar ubicadas en lugares alejados en lo que se disponga de mucho espacio libre, y esto provoca la necesidad de largas infraestructuras de transporte de energía, lo cual conlleva pérdidas de energía[8].

Por lo tanto, se ha desarrollado la integración de la energía fotovoltaica en las ciudades[9]. En este caso, se utiliza terreno ya explotado, sin la necesidad de ocupar más tierra, y se produce la energía dónde va a ser consumida. La mayoría de estos sistemas han sido implantados en las cubiertas de los edificios, porque allí es donde se alcanza la mayor captación de energía solar[10]. Sin embargo, últimamente se ha dado comienzo a la integración de los sistemas fotovoltaicos en muros y fachadas.

### **3.4. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA**

La energía solar fotovoltaica se obtiene por medio del proceso directo de transformación de la energía de transformación de la energía solar en energía eléctrica.

Las células fotovoltaicas están formadas por materiales semiconductores, como podrían ser el silicio (más utilizado), arseniuro de galio, telurio de cadmio o diseleniuro de cobre indio [11].

Tomando el silicio cristalino como ejemplo de material semiconductor, se explicará el funcionamiento de los paneles fotovoltaicos. Los átomos de silicio tienen una configuración cristalina y cada átomo de silicio tiene cuatro electrones de valencia en su capa exterior.

Al exponerse el semiconductor a la luz, un fotón de energía puede romper un enlace, arrancando un electrón y creando un hueco en el átomo excitado. Normalmente, el electrón encuentra rápidamente otro hueco que ocupar, y la energía proporcionada por el fotón se disipa en forma de calor. Esto se conoce como conductividad intrínseca.

Sin embargo, mediante la conductividad intrínseca no se puede crear electricidad. Por lo tanto, es necesario lograr que los electrones salgan al exterior del material semiconductor, para generar de este modo una corriente eléctrica capaz de circular por un circuito externo. De esta forma, se produce una diferencia de potencial y por lo tanto tensión entre las dos partes del material, como ocurre en una pila. [12]

Para conseguir este movimiento de electrones, se crea un campo eléctrico permanente a través de una unión p-n. Esta unión consiste en dopar un mismo material con distintos elementos para conseguir dos capas diferentes: En la capa n los átomos tendrán un electrón más (fosforo) y en la capa p habrá menor cantidad de electrones que en el silicio, proporcionando huecos (boro).

Cuando se juntan las capas de semiconductores con dopados tipo n y p, se crea una unión p-n (positivo-negativo). En esta unión los electrones sobrantes del semiconductor tipo n, que pueden moverse libremente por las impurezas producidas, ocupan los huecos del semiconductor p. Así, en la zona de la capa n existe una carga positiva al abandonar los electrones libres esta capa. En la capa p, en cambio, existirá una carga negativa. A este tipo de conducción se le conoce como conducción extrínseca.

Si el mismo semiconductor p-n se expone a la luz solar, los fotones son absorbidos por los electrones. Esto hace que se rompan las uniones de los electrones, y estos son conducidos por el campo eléctrico a la zona tipo n. Los huecos que se han formado migran en la dirección contraria, a la zona tipo p. A este flujo de cargas portadoras se le llama efecto fotovoltaico.

Las células se unen eléctricamente unas con otras, conformando los módulos fotovoltaicos mediante conexiones serie y paralelo. Los módulos fotovoltaicos se conectan entre sí, formando los que se denominan ramas, cadenas o *strings*. De este modo, es posible realizar instalaciones de gran potencia de manera modular. [13]

### **3.5. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS**

Los módulos fotovoltaicos están formados por células solares interconectadas eléctricamente, produciendo electricidad por medio de la luz que incide sobre ellas. La potencia pico corresponde con la potencia máxima que le módulo puede entregar bajo unas condiciones estandarizadas que son:

- Radiación de 1000 W/m<sup>2</sup>
- Temperatura de célula de 25°C

Los módulos pueden generarse de diferentes materiales, que proporcionan diferentes características.

### **3.5.1. Silicio monocristalino:**

El silicio monocristalino (o mono-Si) está formado por una única estructura cristalina uniforme. Las células monocristalinas son peculiares porque tienen los cantos redondeados o recortados, para prevenir cortocircuitos en los bordes. Ofrecen un rendimiento del 15-18%, un rendimiento mayor en determinadas condiciones frente a las células policristalinas. De este modo, generan un ahorro en el espacio ocupado por los paneles para una misma energía generada.

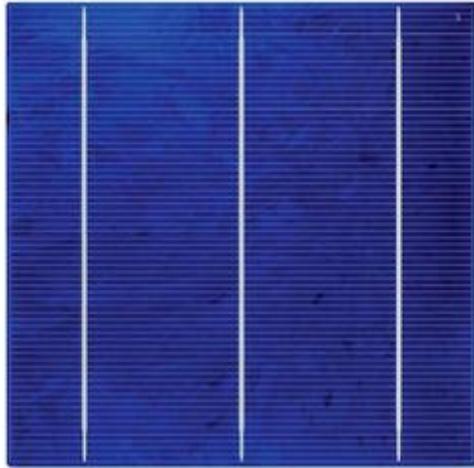


**1. Imagen: Panel fotovoltaico de silicio monocristalino. Fuente: [14]**

### **3.5.2. Silicio policristalino:**

El silicio policristalino (o poli-Si) adquiere este nombre debido a que no está formado por un único cristal, sino en muchos y pequeños. Esto se debe a su proceso de fabricación. El silicio se derrite, y controlando la temperatura, se intenta que el silicio se solidifique creando el mayor número de cristales homogéneos del mayor tamaño posible. Estas, además, como puede reconocerse en la imagen, tienen una forma cuadrada.

Por otro lado, las células policristalinas tienen un rendimiento de entre 13-16%, menor que el de las células monocristalinas. Sin embargo, el precio de venta es menor en comparación con el precio de las células monocristalinas, lo cual ofrece una capacidad de amortización más rápida. Este tipo de tecnología cuenta con una gran competencia en el mercado. [15]



**2. Imagen: Panel fotovoltaico de silicio policristalino. Fuente: [16]**

### **3.5.3. Células de película fina (thin films):**

Estas células se obtienen al depositar varias capas de material fotovoltaico sobre una base. Estas células tienen un grosor que varía desde unos pocos nanómetros (nm) hasta decenas de micrómetros ( $\mu\text{m}$ ). En comparación a las cristalinas, estas son más fáciles de fabricar, y son flexibles y de menor peso. Sin embargo, tienen un rendimiento inferior, por lo que necesitan ocupar un espacio mayor para generar la misma energía.

Estas células pueden estar constituidas por silicio amorfo. Por lo general, este tipo de células se utilizan en la construcción de sistemas fotovoltaicos integrados y como material de acristalamiento fotovoltaico semitransparente que se puede laminar en ventanas.[17]



**3. Imagen: Panel fotovoltaico de película fina. Fuente: [18]**

### 3.5.4. Células de alto rendimiento:

Las células de alto rendimiento son variaciones de las células de silicio monocristalino que consiguen una mayor eficiencia en las células. Esto se debe al proceso de fabricación, donde se consiguen células monocristalinas con una pureza superior al resto. Estas tienen una eficiencia mayor al 19%, que puede llegar al 24%. Además, estas células generan mayor energía a altas temperaturas que la estándar. En esta tipología se pueden encontrar ejemplos como la HIT de Panasonic o las IBC de SunPower.

## 3.6. INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS

Un sistema fotovoltaico es el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar energía solar disponible y transformarla en utilizable como energía eléctrica. Estos sistemas independientemente de su utilización y del tamaño de potencia, se pueden clasificar como [19]:

- **Aislados:** Tienen como objeto satisfacer total o parcialmente la demanda de energía eléctrica de aquellos lugares donde no existe red eléctrica de distribución o ésta es de difícil acceso. Normalmente están equipados con sistemas de acumulación de energía, ya que sólo pueden proporcionar energía durante el día y la demanda se produce a lo largo del día y de la noche.
- **Conectados a red:** No tienen sistemas de acumulación, ya que la energía producida durante las horas de insolación es canalizada a la red eléctrica. Cuentan con sistemas de seguimiento del estado de la tensión de red de distribución, de manera que se garantice el correcto funcionamiento de estas en lo referente a la forma de entregar la energía, tanto en modo como en tiempo, evitando situaciones peligrosas.
- **Híbridos:** combinados con otro tipo de generación de energía. En algunos casos el sistema fotovoltaico aislado se puede complementar con otro generador de energía, a fin de tener mayores garantías de disponer de electricidad. Generalmente se utiliza la energía eólica o los grupos electrógenos.
- **Microrredes:** se trata de sistemas eléctricos discretos y de pequeña escala, donde están interconectadas la energía renovable y la tradicional y sistemas de almacenamiento con sistemas de gestión de la energía en edificios inteligentes. [20] Esto significa que los consumidores locales tienen el potencial para satisfacer parte o todas sus necesidades eléctricas por medio de la generación y uso de sus propias fuentes de energía, mientras están conectados a la red eléctrica general. Esto es, en una microrred comunitaria, el consumidor puede generar y almacenar energía limpia durante el día, usar la energía cuando la necesite, y vender la energía sobrante a sus vecinos y vecinas por medio de dicha microrred.

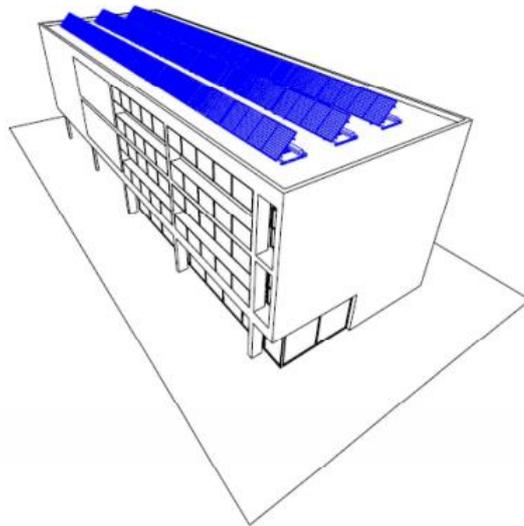
## 3.7. INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Las instalaciones tradicionales de componentes solares en edificios suelen usar los módulos estándar, normalmente sobre estructuras independientes y sobrepuestas a alguna parte del edificio, generalmente sobre cubiertas. Las fachadas de los edificios, en cambio, por lo general son sistemas pasivos, esto es, no pueden adaptarse a las condiciones ambientales cambiantes de los ciclos diarios o anuales, ni a las

necesidades de uso [21]. Las fachadas multifuncionales y adaptables son consideradas la próxima meta en la tecnología de envolventes. Entre estas, uno de los temas más estudiados es la integración de sistemas fotovoltaicos en la envolvente del edificio, que permiten utilizar la envolvente arquitectónica como superficie captadora y generadora de energía [22]. A continuación, se presentan diferentes métodos de integración arquitectónica de la energía solar fotovoltaica en los edificios.

### **3.7.1. Cubiertas horizontales:**

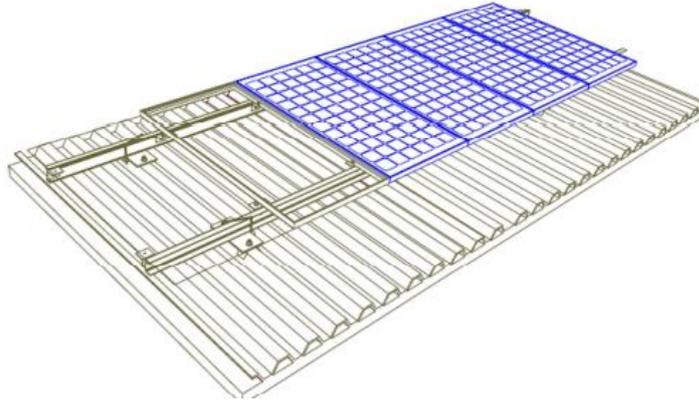
La integración de sistemas fotovoltaicos en cubiertas horizontales es una instalación sencilla. Estas necesitan unas estructuras de soporte, que permiten a la instalación de módulos un alto grado de libertad en cuanto a orientación, inclinación y ventilación, consiguiendo una colocación óptima para generar la máxima energía posible. Además, estos elementos proyectan sombra en la cubierta del edificio, reduciendo su carga térmica y mejorando su eficiencia energética [23] [19].



**4. Imagen: Instalación fotovoltaica en cubierta horizontal. Fuente: [19]**

### **3.7.2. Cubiertas inclinadas:**

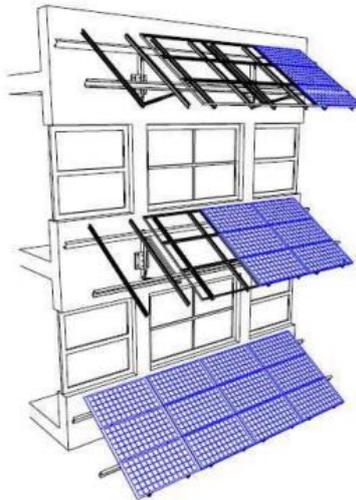
La integración de sistemas fotovoltaicos en cubiertas inclinadas es parecida a la que se utiliza en las cubiertas planas. Estos sistemas requieren de una estructura de sujeción sobre la cubierta en la que se sitúan, y conviene que los módulos se sitúen en lo posible paralelos a alguna de las aguas de la cubierta. Existen, sin embargo, estructuras de sujeción de baja altura que permiten reorientar ligeramente los módulos respecto del plano de cubierta [23] [19].



**5. Imagen: Instalación fotovoltaica en cubierta inclinada. Fuente: [19]**

### **3.7.3. Parasoles:**

Estos sistemas tratan de módulos fotovoltaicos integrados en lamas y parasoles, que además de generación eléctrica, aportan un control solar del espacio interior del edificio sobre los que están integrados. Por lo tanto, esta aplicación puede ser muy importante para el balance energético, sobre todo en los meses de verano en los países con mucha radiación solar, como en España. El objetivo es conseguir un ahorro energético en luz y aire acondicionado, y resultan muy útiles en edificios con amplios ventanales. Estos sistemas pueden diferenciarse en estáticos y orientables [23] [19].



**6. Imagen: Instalación fotovoltaica en parasoles. Fuente: [19]**

En el caso de los parasoles orientables, disponen de la ventaja de poder regular la insolación del edificio mientras, simultáneamente, se proporciona generación eléctrica y distribución de la luz solar. En este sentido, el balance entre la producción de electricidad y el sombreado adaptable puede, en algunos casos, cubrir una proporción considerable de la demanda de energía del edificio.[21]

Estos módulos pueden actuar de manera autónoma o en grupos más pequeños. En este último caso, cada módulo se movería independientemente del resto, en respuesta a las influencias ambientales cambiantes internas y externas. [24] Sin embargo, estos sistemas aún están en proceso de investigación y no son los sistemas más económicos, aunque su aplicación resulta muy útil en edificios de vidrio.

### **3.7.4. Muros cortina:**

Las fachadas muro cortina que incorporan módulos fotovoltaicos usan unidades prearmadas de vidrios dobles o vidrios simples con aislamiento térmico, donde el módulo fotovoltaico es el panel delantero de la unidad. Esto permiten filtrar la luz gracias a su acristalamiento semitransparente, y es adaptable a tecnologías ya existentes [19]. Aun así, el diseño de la fachada debe ser tal que el comportamiento térmico no afecte a los niveles de confort del interior del edificio.

No obstante, desde el punto de vista del rendimiento, el mayor problema de esta solución es la ausencia de ventilación posterior de los módulos fotovoltaicos, lo cual incide en su rendimiento de generación. [25]



**7. Imagen: Integración fotovoltaica en muros cortina. Fuente: [25]**

### **3.7.5. Integración en ventanas:**

La integración en ventanas se hace normalmente en la parte fija de las ventanas, sustituyendo los acristalamientos habituales por módulos transparentes o semitransparentes. Estos van a tener secciones fijas (iluminación) y practicables (iluminación y ventilación) [25].

Se puede jugar con la transparencia del módulo, buscando una uniformidad mayor o menor según nos interese. Los módulos de silicio amorfo consiguen resultados más homogéneos, mientras que los módulos de silicio cristalino transmiten de forma discontinua la luz al interior del edificio.

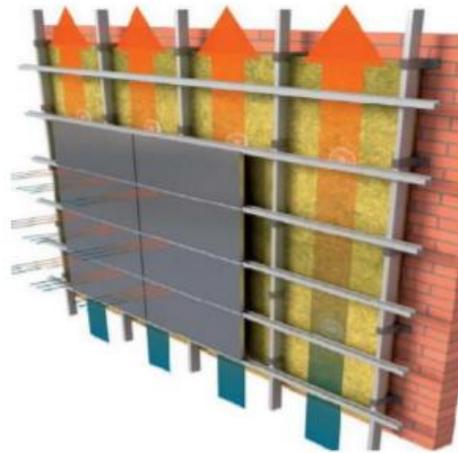


**8. Imagen: Integración fotovoltaica en ventanas. Fuente: [25]**

### **3.7.6. Integración en fachadas ventiladas:**

Esta opción ofrece la posibilidad de integrar los módulos con otros elementos arquitectónicos y constructivos como son revestimientos de piedra, metales, vidrios o materiales artificiales. Una ventaja es que la estructura se mantiene ventilada por su cara posterior, el llamado efecto "chimenea", lo que hace que la temperatura de los paneles fotovoltaicos se reduzca, y en consecuencia, mejore su rendimiento.

El uso de la energía fotovoltaica en estos elementos permite producir electricidad y, aprovechando la energía que el módulo no transforma en electricidad, generar un flujo de aire que pueden ser utilizados para la calefacción en invierno y refrescarse en verano. Por otra parte, la cámara de aire entre los módulos y la pared también proporciona un aislamiento acústico y térmico[23] .



**9. Imagen: Integración fotovoltaica en fachadas ventiladas. Fuente: [23]**

## 4. ESTADO DEL ARTE

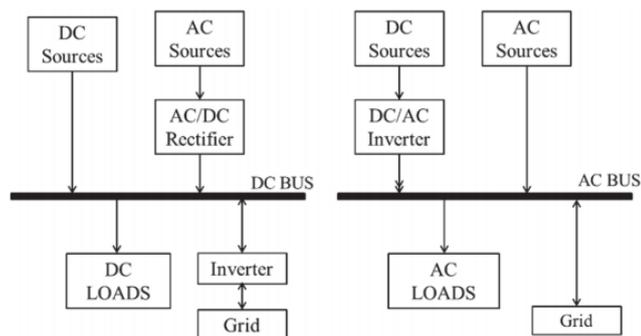
### 4.1. LAS MICRORREDES

En general, el término de microrred describe una red de electricidad autosuficiente y de pequeña escala que combina e integra una variedad de fuentes de energía distribuida, incluyendo generadores y almacenamiento, normalmente cerca del consumidor final [20]. Además, una microrred puede funcionar independientemente sin estar conectada a la red de distribución central, a esto se le llama "islandic mode". Esto es, en caso de que la red general sufra caídas de tensión, fallos o apagones, la microrred podrá desconectarse de la red general y pasar al *islandic mode*. Sin embargo, el *islandic mode* no es un proceso simple, dado los procesos y protocolos obligatorios a seguir [26] [27].

#### 4.1.1. Tipología de microrredes:

Para conseguir el diseño adecuado de una microrred, es necesario determinar su configuración, dependiendo de las necesidades a satisfacer. Las microrredes pueden ser clasificadas dependiendo del tipo de bus por el que ocurre el cambio de energía [27]:

- Corriente directa (DC): Necesita un rectificador AC/DC para las fuentes de energía que tenga corriente alterna.
- Corriente alterna (AC): Necesita un inversor (DC/AC) para las fuentes de energía que usen corriente directa.
- Ambas



10. Imagen: Clasificación de microrredes en función del tipo de bus. Fuente: [27]

Además, las microrredes también pueden clasificarse dependiendo su interacción con la red general y las cargas de energía.

- Microrredes aisladas: ubicadas en áreas remotas donde es demasiado caro hacer la interconexión a la red general.
- Microrredes conectadas a la red: Suelen ser utilizadas para satisfacer ciertas cargas, y al estar conectadas a la red general, aumentan la fiabilidad del suministro energético.

- Microrredes de soporte: Estas también están conectadas a la red general, pero generan un porcentaje significativo de energía. Son ideales en las áreas con disponibilidad limitada a las fuentes de energía fósiles.

Los sistemas de distribución disponen de diferentes diseños. Hoy en día, las microrredes no suelen estar conectadas entre sí (forma radial), y si lo están, suelen tener pocas conexiones entre sí (forma débilmente mallada). Sin embargo, estudios [28][29] han predicho que, en el futuro, lo más probable es que el diseño de los sistemas de distribución sea mallado (conectadas entre sí), debido a la tendencia al aumento de la generación distribuida, las mejoras de fiabilidad y calidad de los sistemas y las oportunidades de control que proporcionan la implementación de estas instalaciones[30].

#### **4.1.2. Componentes de las microrredes:**

Para poder cumplir con las condiciones de funcionalidad y operación de las microrredes, varios componentes son fundamentales. Estas tecnologías son una combinación de recursos de energía distribuida, que pueden ser unidades de generación distribuida, almacenamiento o una carga activa. Además, es necesaria una red física para conectarlos y una tecnología avanzada de respuesta de control y demanda, para operar y controlar la distribución de la energía y proporcionar información del uso de la energía.

De acuerdo con R. Dohn [31], una microrred debería tener uno o más unidades de generación distribuida para aumentar la flexibilidad y fiabilidad de la potencia. Además, se descubrió que múltiples unidades de generación más pequeñas eran mejores en el seguimiento de cargas automáticas, mejorando la seguridad[32].

Por otro lado, las opciones de almacenamiento son esenciales en las microrredes pues la generación de energía no suele encajar perfectamente con la demanda de cargas [20]. Por lo tanto, el almacenamiento mejora el rendimiento general de la microrred, consiguiendo que se cumplan las exigencias de energía y potencia. Entre estas se pueden encontrar baterías, volantes de inercia, condensadores, o incluso coches eléctricos, almacenando energía durante la noche cuando la demanda y coste de la electricidad es baja. Estas opciones de almacenamiento estabilizan y permiten que los generadores funcionen constantemente, a pesar de las variaciones de carga. Esto mitiga la intermitencia de las fuentes de energía primaria renovables, como la del sol y el viento, y permite operar a los generadores como unidades gestionables para proporcionar energía adicional por demanda.

Con el objetivo de operar y controlar las unidades de generación junto a las unidades de almacenamiento y las cargas controlables, son necesarias las capacidades avanzadas de conversión y control de electrónica de potencia para integrar la comunicación entre todos los componentes en un sistema coordinado de gestión de microrredes. Por lo tanto, esto requiere de sistemas de control de hardware y software especializados [20].

#### **4.1.3. Ventajas y desventajas de las microrredes:**

El uso de microrredes ha aumentado en varias partes del mundo, incluyendo Europa, Estados Unidos, Australia, China y Brasil, entre otros [33][34][20][35][36][37][38]. Un análisis global reciente ha identificado 4475 proyectos de microrredes remotas y conectadas a la red, en funcionamiento, bajo desarrollo o propuestos por todo el mundo [39]. Geográficamente, Asia y Norte América cuentan con casi el 70% de todas las capacidades de microrredes, seguidas de Oriente Medio y África [40].

Estas descentralizaciones ofrecen numerosas ventajas, bien para el cliente final, como para las compañías eléctricas. Para los clientes, la implementación de microrredes puede proporcionar una mejora en la fiabilidad en el servicio eléctrico, una mejora en la calidad de la energía y costes de la electricidad más bajos en un

20-25% [41]. Además, también mejora la sostenibilidad, expandiendo e integrando la generación de energías limpias que permite a los clientes a saciar sus necesidades eléctricas mediante una red local. Por otro lado, las compañías también se benefician de estas redes dado que les permite la reparación de sistemas sin afectar a la carga energética de ningún cliente, proporcionando cargas gestionables para su uso durante condiciones de picos de potencia y reduciendo el estrés en los sistemas de transmisión y distribución. En consecuencia, se consigue una mejora de la eficiencia al reducirse las pérdidas en el sistema de distribución.

Aunque los beneficios de las microrredes hayan sido ampliamente estudiados y se hayan implementado varias microrredes exitosas, estas aun sufren ciertos desafíos. Los más comunes son: problemas técnicos, legislativos, económicos y de participación de interesados.

- Desafíos técnicos: estos desafíos ocurren en elementos específicos de la microrred. Pasar de estar conectado a la red general al *island mode* sigue siendo un reto, acción a la que se le denomina funcionalidad de conmutación de modo dual. Además, la calidad de la energía no siempre es fiable y los problemas de protección aún no están resueltos.
- Desafíos tecnológicos: estos desafíos pueden variar desde la durabilidad y eficiencia de las unidades de generación y almacenamiento, a la efectiva funcionalidad de la comunicación y control del software.
- Operación de modo dual: La reconexión a la red general también presenta dificultades, pues es necesario un control de voltaje y/o frecuencia para poder sincronizar las dos redes.
- Control del voltaje y frecuencia: Mantener una calidad de voltaje y frecuencia es necesaria para asegurar flujo de energía para todos los consumidores. Las dificultades aparecen en la coordinación de voltaje y corrientes armónicas entre una gran cantidad de fuentes de energía distribuida.
- Regulatorias: Las microrredes requieren un marco legal para poder participar del mercado en el cual se conectan ya que pueden ofrecer servicios a la red [42].
- Desafíos en la protección: Comúnmente ocurren eventos como fallos de cortocircuito que pueden dañar componentes, material de los consumidores y personal.
- Confianza: Debido a la novedad y complejidad del concepto de las microrredes, ganar la confianza de los consumidores locales puede resultar difícil, para poder implementar la microrred en esa área [20] [43].

En conclusión, las microrredes requieren un sistema de control y gestión más avanzado, al mismo tiempo son más caros en su puesta en marcha que los tradicionales. Además, son necesarios los sistemas de comunicación robustos, que permitan un tráfico de información seguro entre los sistemas de la microrred y sus consumidores. Por último, las tecnologías renovables y los sistemas de almacenamiento aún deben madurar para ser capaces de competir con las grandes centrales y la economía de mercado, por lo que es muy importante continuar la investigación en todos los elementos mencionados.

## 4.2. ALGORITMOS PARA LA CONFIGURACIÓN DE MICRORREDES

La planificación de las redes eléctricas consiste en la elaboración de una metodología que permita llevar la energía de las fuentes a los puntos de demanda, mediante una configuración óptima del sistema, que garantice el menor coste posible y respete las restricciones técnicas aplicables [44] [45][46]. Por otro lado, los algoritmos para la

optimización de las redes eléctricas tienen como objetivo lograr un diseño y control eficiente de la red [30].

En la configuración de las microrredes, se debe encontrar el tamaño óptimo de cada componente, esto es, se debe encontrar la capacidad o potencia nominal de cada componente que garantice un abastecimiento adecuado a un coste mínimo. Esto tiene su dificultad, pues el tamaño no solo está determinado por la arquitectura del sistema, también lo está por la estrategia de gestión de energía [47]. Dependiendo del uso de algunos componentes, como las unidades de almacenamiento, la capacidad requerida puede variar significativamente, lo cual afecta tanto al tamaño del resto de componentes como al coste total. Otro aspecto a tener en cuenta es el impacto de la incertidumbre de la producción de los paneles fotovoltaicos, que dependen del clima. Predecir errores varía los datos de entrada y deriva a resultados de configuración subóptimos, lo cual influye en los resultados del tamaño de los componentes [48].

Por lo tanto, para lograr una configuración adecuada se deben tener en cuenta los siguientes factores principales:

- Aspecto económico: Debe estar orientado a procurar la minimización de costes fijos por instalación de los equipos, costes por pérdidas, los costes asociados con la fiabilidad debido a interrupciones...
- Aspecto técnico: Deben respetarse las restricciones técnicas de la red, tales como balances de potencia, evitar violaciones de capacidades de transformadores y líneas, mantener un adecuado nivel de fiabilidad...
- Aspecto social: La red debe ser planificada considerando factores de seguridad, ambientales, estéticos...

Cuando se opera una red eléctrica de cualquier tamaño, es vital estimar con antelación cómo va a comportarse. Para ello, es posible emplear modelos empíricos, extrayendo conclusiones a partir de ensayos, o desarrollar un modelo analítico, creando estrategias para cualquier escenario previsto [49]. En este proyecto se estudiarán los algoritmos para la planificación y optimización de las microrredes, que sirven para conseguir un buen dimensionamiento del sistema, para minimizar costes y mejorar la fiabilidad.

#### **4.2.1. Modelo de optimización de microrredes:**

La creación de un modelo de planificación de microrredes adecuado debe ser realizada siguiendo tres pasos principales:

- 1- Identificación de variables: Determinar aquellos parámetros que pueden ser controlados y las variables que afectan al desempeño del sistema.
- 2- Planteamiento de la función objetivo: El objetivo debe estar modelado mediante una función matemática dependiente de las variables previamente determinadas.
- 3- Planteamiento de las restricciones: Consiste en el planteamiento matemático de todas las condiciones necesarias para lograr una operación adecuada del sistema.

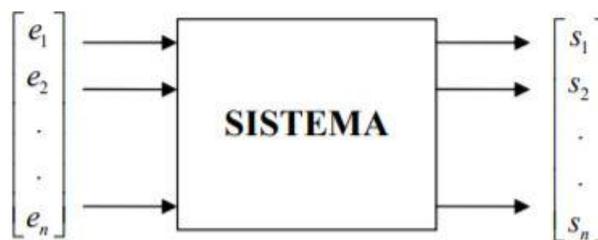
Estos objetivos pueden ser antagónicos entre sí, y en este caso, el proceso no busca un óptimo global, sino la evaluación de un conjunto de soluciones eficientes que representan el mejor compromiso posible entre los objetivos [50][51][52]. Estos objetivos suelen ser: la minimización de costes fijos de líneas y transformadores, la minimización de costes variables por pérdidas en conductores y transformadores, o la confiabilidad.

Por lo tanto, un algoritmo de optimización es el procedimiento que permite calcular la solución que satisface de manera óptima los objetivos del modelo, esto es, el algoritmo correcto a utilizar dependerá del modelo y sus objetivos[30].

#### 4.2.2. Clasificación de modelos de optimización de microrredes:

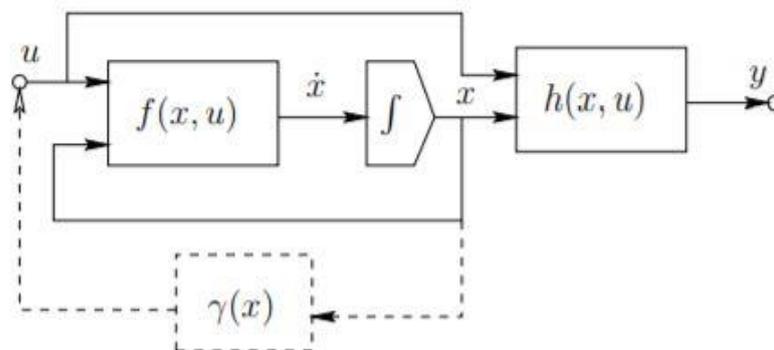
Los modelos de planificación pueden clasificarse en función de sus características y estructuras [30]. Una clasificación común es según la linealidad del modelo, y dentro de este se pueden dividir en modelos lineales y no lineales.

- Modelos lineales: Están basados en la optimización de una función objetivo de característica lineal, con restricciones también lineales. Si existe una solución para el problema de optimización de tipo lineal, el conjunto de restricciones del modelo forma un espacio en el cual se encuentra la solución óptima.



11. Imagen: Sistema lineal. Fuente:[53]

- Modelos no lineales: Son aquellos en los que al menos una de las funciones objetivo o restricciones es de característica no lineal. La mayoría de los sistemas de la vida real tienen características no lineales. Por ejemplo, las pérdidas de potencia en forma de calor que ocurre en las líneas por el efecto Joule introducen una característica no lineal en el modelo. En los modelos no lineales, se introduce la posibilidad de convergencia a soluciones no eficientes, por lo que es necesario implementar algoritmos especializados o estrategias [54].



12. Imagen: Sistema no lineal. Fuente:[54]

Por otro lado, otra clasificación común de los modelos de planificación se hace en función del número de objetivos de los que se disponga. En este caso, se distinguen los modelos monobjetivo y multiobjetivo. El primero, consiste en la satisfacción de una única función objetivo, mientras que los modelos multiobjetivo están realizados en función de más de un objetivo.

### **4.2.3. Antecedentes de los modelos de optimización de microrredes:**

Los orígenes de la aplicación de algoritmos especializados para la resolución de modelos de planificación aplicados se remontan al principio del siglo XX. Durante la Primera Guerra Mundial, resultaron de gran importancia la elaboración de modelos que permitieran una adecuada distribución de los recursos disponibles. Tras la guerra, las empresas desarrollaron un creciente interés por el desarrollo de modelos de optimización aplicados a todo tipo de áreas, incluyendo la planificación y optimización de las redes eléctricas.

Durante la decena de 1960, se establecieron los fundamentos y primeras propuestas de los modelos de planificación, y pasados los años, se empezaron a crear los primeros modelos. En la etapa de 1990 a 1999, prosperaron los primeros planteamientos concernientes a la fiabilidad, la incertidumbre y la programación multiobjetivo. Desde entonces, aumentó el interés por el desarrollo de modelos multiobjetivo y la modelización de incertidumbres. En los últimos diez años, debido al incremento en la generación distribuida y las capacidades de control inteligente y modelización, se han desarrollado los métodos de planificación óptima.

El problema de la planificación óptima de redes eléctricas es que, debido a sus características, se modela clásicamente como un problema de tipo lineal. Sin embargo, el llevado costo computacional constituye una limitante al utilizar este tipo de algoritmos, requiriendo la utilización de técnicas especiales que permitan evitar la convergencia a soluciones no eficientes. Esto ha motivado el desarrollo de modelos basados en formulaciones linealizadas [30].

### **4.2.4. Comparación de modelos de optimización de microrredes:**

En la actualidad, la optimización y planificación de microrredes está siendo ampliamente estudiada. A continuación, se compararán diferentes estudios que comparten un mismo objetivo, la planificación y optimización de diferentes microrredes, cada uno utilizando una metodología diferente.

#### **4.2.4.1. Estudio 1:**

El estudio de Weber, Maréchal y Favrat [55] es muy completo, y presenta un nuevo método de diseño y optimización de una microrred con el objetivo de minimizar los costes y las emisiones de CO<sub>2</sub>. Este método está dividido en tres fases: Primero, una fase de estructuración, donde se reúnen todos los datos considerados acerca del distrito (perfiles de consumo, ubicación de los edificios...). Le sigue una fase de optimización en la que se diseña el sistema de energía óptimo del distrito, y para finalizar, se usa una fase de postproceso en la que el rendimiento de los sistemas, las emisiones totales de CO<sub>2</sub> y los costes son calculados. Aun así, debido a la complejidad, la fase de optimización se divide en dos. La primera parte, la parte no lineal, se resuelve con un modelo multiobjetivo. La segunda parte, en cambio, se trata de una parte lineal mixta (MILP), resuelta por el problema de optimización monoobjetivo conectado al anterior.

La primera fase se encarga de las siguientes variables: el diseño del tamaño y características de las tecnologías de calentamiento, el diseño del tamaño de las tecnologías de refrigeración, las temperaturas del suministro de la red para calefacción y refrigeración, el grosor del aislamiento de los tubos y el valor de los impuestos de CO<sub>2</sub>. La segunda, define el diseño y funcionamiento óptimos de la red en función de las variables anteriores, los perfiles de consumo y los outputs (salidas)

del algoritmo anterior. El diseño y funcionamiento óptimos del modelo incluyen el diseño óptimo de la red y la estrategia para el funcionamiento óptimo, eligiendo entre diferentes tipos de tecnologías de generación de energía. Los resultados se obtienen al final, y se eligen en función de los objetivos del modelo, en este caso, la minimización del coste y de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Este método ha resultado ser una opción útil a la hora de resolver problemas, pues se consigue crear un sistema óptimo en función de costes y emisiones de CO<sub>2</sub>, por medio de dos algoritmos. Sin embargo, este modelo cuenta con un tiempo de resolución alto. Además, este método aún no ha sido probado en distritos reales.

#### **4.2.4.2. Estudio 2:**

En el siguiente estudio, de Muñoz y Ospino [56], se analizan varias estrategias y criterios de suministro y consumo para conseguir la planificación óptima de una microrred, seleccionando fuentes de generación que se adapten de manera adecuada a los recursos energéticos y la demanda de la zona. Además, también se lleva a cabo una fase de optimización del sistema, todo ello por medio del uso de la herramienta HOMER.

En primer lugar, se calcula la energía necesaria del usuario al día, determinando la potencia de todos los aparatos de los que constará la instalación. Se calcula el consumo medio diario y se consigue el perfil de carga diario.

En el segundo paso de esta metodología, se analizan los diferentes tipos de recursos naturales de la zona, que puedan ser usados para la generación de energía por medio de sistemas de energía renovable, y se estudia su potencial energético.

En la tercera fase, se lleva a cabo un análisis desde el punto de vista medioambiental. Se considera el uso de generadores convencionales en posibles escenarios. En el análisis se consideran los costos asociados, la facilidad de conseguir y transportar combustibles y los posibles sistemas de almacenamiento.

Por último, se presenta la selección del sistema con el mix energético de generación óptimo, considerando tanto el aspecto técnico como el económico. Para conseguirlo se aplican procesos de simulación, optimización y análisis de sensibilidad. El proceso de simulación, se determina una combinación de unidades de generación y almacenamiento de tamaños específicos. En la fase de optimización, se busca la configuración óptima, usualmente teniendo en cuenta los aspectos económicos. Entre los costes se tienen en cuenta los costes iniciales de los componentes del sistema, de reemplazos, de mantenimiento y combustible y los costos de compra de energía a la red. El proceso de optimización llega a la configuración óptima para un escenario que implica una serie de entradas variables y consideraciones específicas, que fluctúan con el tiempo y pueden resultar un peligro al proyecto. Por este motivo, es necesario realizar un análisis de sensibilidad, que consiste en efectuar varios procesos de optimización, modificando valores variables, para determinar la configuración óptima bajo cada condición, controlando la incertidumbre y reduciendo el riesgo del proyecto.

Este estudio no solo presenta un método de selección de las fuentes de energía con mayor potencial en la zona, sino que también plantea una configuración del tamaño y componentes del sistema y realiza su optimización para la mejora de funcionamiento y reducción de costes y riesgos. Sin embargo, este estudio no muestra el algoritmo usado para poner en marcha esta metodología.

#### **4.2.4.3. Estudio 3:**

Este tercer estudio de Umer Akram et al. [57], se centra en la necesidad de determinar medidas apropiadas para los generadores de energía renovable y el almacenamiento, para poder conseguir un sistema eficiente, económico y fiable. Para ello, este estudio propone el uso de dos algoritmos para el correcto dimensionamiento de una microrred compuesta por turbinas de viento (WT), paneles fotovoltaicos (PV) y baterías para el almacenamiento de la energía. La metodología se divide en dos: un algoritmo para la medición de fuentes de energía, y otra para la medición de las unidades de almacenamiento, ambas llevadas a cabo por medio del programa Matlab.

Para empezar, se estudian todos los componentes y sus capacidades en la primera fase de modelación. En esta se calculan la velocidad del viento por hora, que tiene efecto en el comportamiento de las turbinas de viento, la máxima producción solar, para calcular el rendimiento de los paneles fotovoltaicos, el estado de carga de la batería (SOC), la potencia suministrada por la red general y la demanda del sistema, todo esto por en forma de fórmulas matemáticas.

Después, se da paso a la metodología propuesta, con la cual se concreta la cantidad de paneles fotovoltaicos y turbinas de viento a implantar, y la capacidad y tamaño máximo de las baterías. El primer algoritmo, para el dimensionamiento de las fuentes de generación, utiliza los datos de la potencia fotovoltaica y eólica y de la demanda energética, y los reduce en base a las limitaciones propuestas. El segundo algoritmo, usado para el dimensionamiento de las baterías, selecciona 1000 combinaciones diferentes para los paneles fotovoltaicos y turbinas eólicas, y para cada combinación, calcula la capacidad de los sistemas de almacenamiento. Este modelo encuentra la solución óptima basándose en los factores de coste y fiabilidad. Además, se crean análisis económicos y de fiabilidad de las combinaciones seleccionadas. Para ello, se tienen en cuenta los costes iniciales de inversión, el coste de operación y mantenimiento y el coste de sustitución.

La metodología propuesta ha resultado ser útil en la optimización de una microrred, proporcionando una solución óptima con alta fiabilidad y costes menores. Esta metodología ha sido utilizada en casos reales y se ha demostrado que la solución óptima es económica y produce menos emisiones de CO<sub>2</sub>. Asimismo, se ha realizado una comparación entre las soluciones en base a emisiones y costes para ciertos casos seleccionados, y la solución óptima ha demostrado ser superior a otras soluciones. Sin embargo, este estudio no analiza la planificación óptima, ni estudia el potencial de diferentes fuentes de energía. En este estudio los componentes del sistema ya están previamente analizados, y solamente se centra en la optimización del sistema. Además, el cálculo de los costes no está matemáticamente explicado, esto es, no se especifica cómo está calculado y medido en el algoritmo, como ocurre con el resto de las variables.

#### **4.2.4.4. Estudio 4:**

En el siguiente estudio, por J Li et al. [58], se desarrolla un algoritmo simple que determina la cantidad de unidades fotovoltaicas y de turbinas eólicas, y la capacidad de almacenamiento que se requiere para una microrred híbrida independiente. El algoritmo está basado en la observación de que el estado de carga de la batería (SOC) debería ser periódicamente invariable.

Para empezar con la metodología de este modelo, se necesitan los datos de la velocidad del viento y la irradiación solar por hora, el perfil de demanda diario y las especificaciones de las turbinas de viento, paneles fotovoltaicos y baterías. Con esta información, comienza el cálculo de la potencia generada por las WT y PV. Para esto,

se tiene en cuenta que la potencia generada por los paneles fotovoltaicos no solo depende de la radiación solar, sino también de la temperatura.

El cálculo del rendimiento de la batería se caracteriza generalmente por el estado de carga, y se ignoran las eficiencias de carga y descarga en la fórmula, que en otros artículos se utiliza, por medio de una simplificación. Por otra parte, este modelo se caracteriza por la observación de que el estado de carga de la batería debería ser periódicamente invariable. El estado de carga depende del historial de datos y de la diferencia entre la potencia generada y la potencia demandada. Para asegurar un buen comportamiento de la batería, el SOC debería regresar al estado inicial cada periodo de tiempo. De lo contrario, el estado de carga irá reduciéndose a lo largo del tiempo. Por lo tanto, se crea el criterio de invarianza del ciclo SOC. Con este parámetro, el algoritmo de dimensionamiento no considera el valor del estado de carga cada instante, sino que directamente determina las cantidades de WT y PV dependiendo de la demanda. Gracias a esto, se calcula la capacidad de energía máxima y mínima disponible en la batería durante un plazo de tiempo.

Por otro lado, con el fin de mejorar la vida y eficiencia de la batería, la corriente que circula por la batería se limita a un rango específico. La batería tiene un rango limitado de profundidad de descarga [59], esto es, la cantidad de capacidad retirada de una batería expresada como un porcentaje de su capacidad máxima. Por lo tanto, este factor también se tomará en cuenta para prolongar la vida útil de la batería.

Asimismo, también se lleva a cabo un análisis en el que se calcula el coste del ciclo de vida del sistema, que consiste en la inversión inicial, el coste de funcionamiento y mantenimiento, y los costes de sustitución. Consecuentemente, se obtiene la dimensión óptima de la microrred, en función de la minimización de los costes.

Esta metodología, al igual que las anteriores, resulta exitosa, pues se consigue la optimización de una microrred por medio de un algoritmo. La mayor contribución es la propuesta del criterio de invarianza del ciclo SOC, por el cual la cantidad de paneles fotovoltaicos puede ser directamente calculada si se tiene el número de turbinas eólicas. Esta metodología se ha implementado en un estudio con datos reales, en el que se demuestra la solidez del algoritmo y la utilidad del criterio de invarianza. Además, en este caso el análisis económico se encuentra matemáticamente detallado. Sin embargo, al igual que el caso anterior, en este artículo solo se estudia la optimización del sistema de microrred, dejando de lado el proceso de planificación y la selección de los componentes del sistema.

#### **4.2.4.5. Otros:**

Por último, un estudio de D. Mehleri et al. [60], se centra en el diseño óptimo de una red de energía distribuida, por medio de un enfoque matemático para la programación. En este caso, el objetivo es minimizar los costes, entre los que se toman en cuenta, los costes de inversión, funcionamiento, compra de electricidad de la red general, coste de las emisiones de CO<sub>2</sub> y la venta de electricidad a la red eléctrica. Aunque en general, el estudio se componga por estructura similar a la de los estudios anteriores, en el apartado de costes tiene en cuenta factores que hasta ahora no se habían estudiado en los demás artículos. Este puede ser un enfoque interesante, dado que se hace un estudio más profundo y concreto que puede ayudar en la mejora de la optimización de la microrred.

## 5. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL TRABAJO

El objetivo principal de este proyecto es el estudio de alternativas para el diseño y dimensionamiento de una instalación fotovoltaica y su aplicación al barrio Basaundi Bailara de Lasarte, Guipúzcoa. Asimismo, para llevar a cabo este trabajo, a continuación, se detallan los objetivos específicos:

- Estudiar las características meteorológicas y del terreno de la zona.
- Estudiar las posibilidades de instalación del sistema fotovoltaico y su generación de energía óptima.
- Analizar una instalación fotovoltaica que consiga un aprovechamiento del 100% de la energía generada.
- Analizar los diferentes modelos de funcionamiento y los diferentes usos de la energía generada, junto a sus pros y sus contras.
- Escoger y justificar las características de instalación óptimas.
- Diseñar el esquema de la instalación eléctrica.

## 6. BENEFICIOS QUE APORTA EL TRABAJO

Esta investigación trata sobre el análisis de alternativas para el diseño y dimensionamiento de una instalación fotovoltaica en el barrio de Basaundi en Lasarte. A continuación, se detallan los beneficios generales que aporta esta investigación:

- Aporta de conocimiento sobre un tema específico que es nuevo e incipiente: Esto es, el proyecto trata sobre el diseño de una comunidad energética autoabastecida por medio de una instalación fotovoltaica colocada en el barrio, y sobre las posibles alternativas para el uso y la gestión de la energía generada.
- Sienta las bases para realizar una investigación futura: Este estudio puede convertirse en la base para un futuro trabajo que analice y diseñe un algoritmo de gestión de la energía para la instalación fotovoltaica que se propone en este trabajo.

Además, la creación de este proyecto aporta diferentes beneficios al barrio en el que se instala:

- Impulso de las energías renovables: El proyecto impulsa las energías renovables, más concretamente, la energía solar fotovoltaica. Esto es, se crea una instalación que aprovecha la luz solar, consiguiendo energía de forma no contaminante. Las instalaciones fotovoltaicas no generan ruidos, ni molestias, se trata de una instalación beneficiosa para el bienestar de los habitantes que conviven en el barrio.
- Beneficio económico: Esta instalación servirá para abastecer una parte del consumo del barrio, lo que significa un ahorro en su factura eléctrica. En caso de generar energía sobrante, esta se vende a la red y los residentes del barrio se beneficiarían de una recompensa económica.
- Función de modelo a seguir: Basaundi Bailara será una de las primeras comunidades energéticas creadas en la zona. De este modo, el llevar a cabo este proyecto y, además, de una manera exitosa, servirá como ejemplo para otras comunidades que quieran disponer de un equipo de autoconsumo y quieran realizar un proyecto parecido.

## 7. METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO

### 7.1. FASES Y MÉTODOS SEGUIDOS

#### 7.1.1. *Estado el arte:*

Como se ha mencionado anteriormente, el objetivo de este trabajo es el estudio de alternativas para el diseño y dimensionamiento de una instalación fotovoltaica. En este primer apartado de fases y métodos, y por medio de los siguientes subapartados, se desarrolla y se explica la metodología seguida en el desarrollo de este trabajo.

Después, en el apartado 7.2, se plantea esta metodología para el caso de estudio del barrio Basaundi Bailara, donde se detallarán las características del mismo. Más adelante, se realizarán los cálculos necesarios para analizar el dimensionamiento de la instalación fotovoltaica que quiere realizarse en el caso de estudio y se plantearán las alternativas propuestas para el uso de la energía que puede generarse.

#### 7.1.2. *Cálculo de la captación de energía:*

El objetivo de este apartado es el cálculo de la cantidad de energía que captan los paneles fotovoltaicos instalados en diferentes zonas del barrio Basaundi (cubiertas y fachadas), para saber la generación energética que puede proporcionar cada una, en función de su ubicación, orientación e inclinación, y poder analizar su viabilidad.

Esto se lleva a cabo por medio de la herramienta GRASS (Geographic Resources Analysis Support System)[61], que se trata de un software SIG (Sistema de Información Geográfica). Es ideal para su uso en aplicaciones ingenieriles y de planificación territorial. Al igual que otros paquetes de SIG, puede visualizar y manipular datos vectoriales, como carreteras, ríos, límites, etc. En este caso, se ha utilizado para mostrar la radiación solar que llega a las cubiertas del barrio y analizarlas en cada hora y día del año, como puede mostrarse en el apartado 7.2.3.

Con estos datos, se ha podido calcular la radiación media que llega a cada cubierta. Después, en una tabla, teniendo en cuenta el área, la orientación, inclinación, número de paneles y radiación captada en cada cubierta, se ha realizado el cálculo de la generación de energía diaria y por hora en cada cubierta. Para este cálculo, también se tienen en cuenta la eficiencia de conversión (17%), las pérdidas del sistema (14%) y el rendimiento del sistema (86%). Gracias a estos cálculos, se ha podido estudiar la viabilidad de cada cubierta para decidir en qué cubiertas es más beneficioso la instalación de paneles fotovoltaicos.

Se ha seguido el mismo patrón para el estudio de la eficiencia de la instalación de paneles fotovoltaicos en las fachadas. Por medio de estos resultados se puede conseguir la curva de generación de energía por la instalación fotovoltaica durante el día, que se calcula en el apartado 8.1.3. Todos estos cálculos se recogen en el Excel adjuntado junto a este trabajo, más concretamente, en el apartado de "Datos".

### **7.1.3. Cálculo de la demanda:**

En este apartado se quiere conocer la demanda energética del barrio Basaundi Bailara, con el fin de poder calcular la dimensión de la instalación fotovoltaica que se quiere realizar en el barrio para poder abastecer esa demanda o parte de ella.

Sin embargo, en este caso, no se dispone de datos concretos a tiempo real de las viviendas del barrio. Por lo tanto, se llevará a cabo un estudio de los diferentes usos de energía y se calculará la cantidad de energía usada por medio de datos generales obtenidos de plataformas de estudio de la energía, como puede ser el IDAE.

Los diferentes consumos de energía son los siguientes: El uso de energía para el consumo eléctrico de las viviendas del barrio, el consumo eléctrico de la comunidad (Ascensores e iluminación), el consumo para el calentamiento del agua caliente sanitaria de las viviendas y la posibilidad de instalar una estación de carga de vehículos eléctricos, tanto automóviles como bicicletas. Los cálculos de estos consumos se han llevado a cabo en el Excel, en el apartado "Tipos de consumos", y se explican más adelante en el apartado 9.1.

### **7.1.4. Estudio de alternativas:**

Por último, se llevará a cabo un estudio de diferentes alternativas:

- ALTERNATIVA 1: COMUNIDAD ENERGÉTICA PARA EL AUTOCONSUMO EN VIVIENDAS
- ALTERNATIVA 2: COMUNIDAD ENERGÉTICA PARA EL AUTOCONSUMO EN VIVIENDAS Y OTROS USOS COMUNITARIOS
- ALTERNATIVA 3: COMUNIDAD ENERGÉTICA PARA EL AUTOCONSUMO EN VIVIENDAS Y EMPRESAS LOCALES

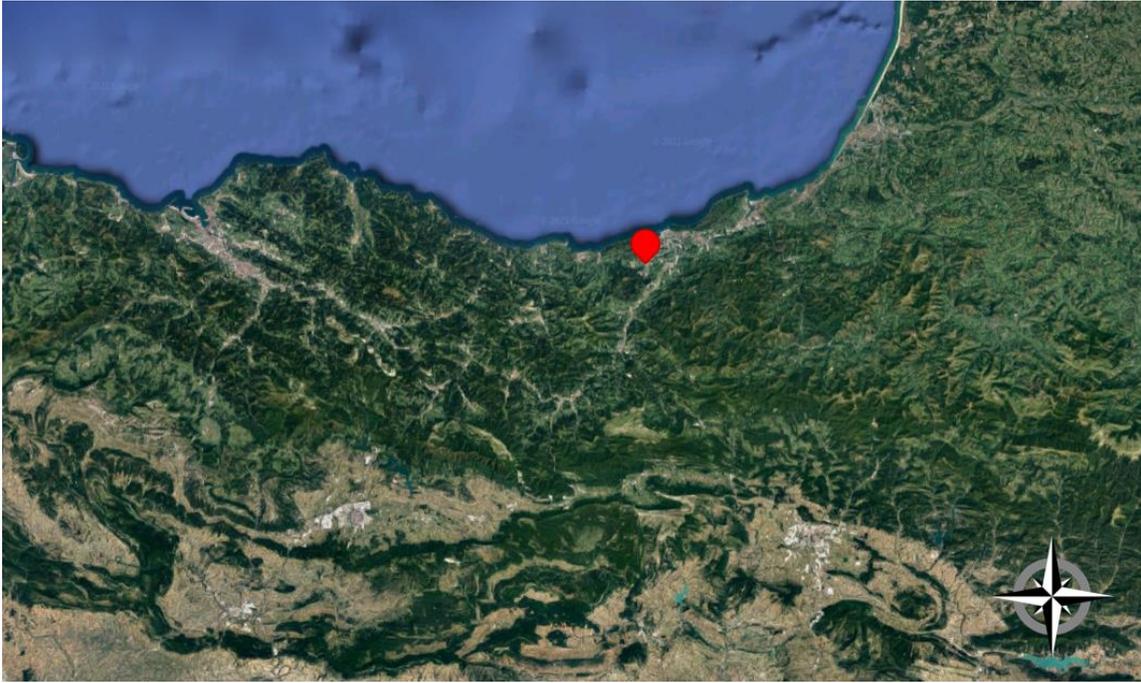
En la primera alternativa, se estudiarán los consumos anteriormente mencionados, y se compararán con la curva de generación energética, con el fin de conocer si la energía fotovoltaica generada es suficiente como para abastecer cada consumo. En la segunda alternativa, se analizará la combinación de diferentes consumos y se compararán con las curvas de generación de energía, para estudiar la posibilidad de abastecer más de un consumo por medio de la energía generada en la instalación fotovoltaica. Por último, se plantea una última opción, la creación de una comunidad energética entre el barrio y una empresa local, con la intención de crear una instalación fotovoltaica que abastezca los consumos del barrio y/o la empresa.

Más, adelante, en el apartado 9.4, se propone la alternativa óptima para el caso de estudio que es Basaundi.

## **7.2. CASO DE ESTUDIO**

### **7.2.1. Descripción y localización:**

El proyecto se basa en la creación de una instalación eléctrica alimentada por medio de energía solar fotovoltaica, situada en el barrio Basaundi Bailara de Lasarte-Oria, Guipúzcoa. Este proyecto forma parte de un plan de rehabilitación del barrio, en el que además de la instalación fotovoltaica, pretende renovar las fachadas de los edificios y las zonas públicas exteriores e instalar ascensores en los edificios. El barrio consta de 16 portales con 154 viviendas en total.



**13. Imagen: Ubicación del barrio Basaundi, en Lasarte, Guipúzcoa. Fuente: Elaboración propia adaptado de Google Earth.**



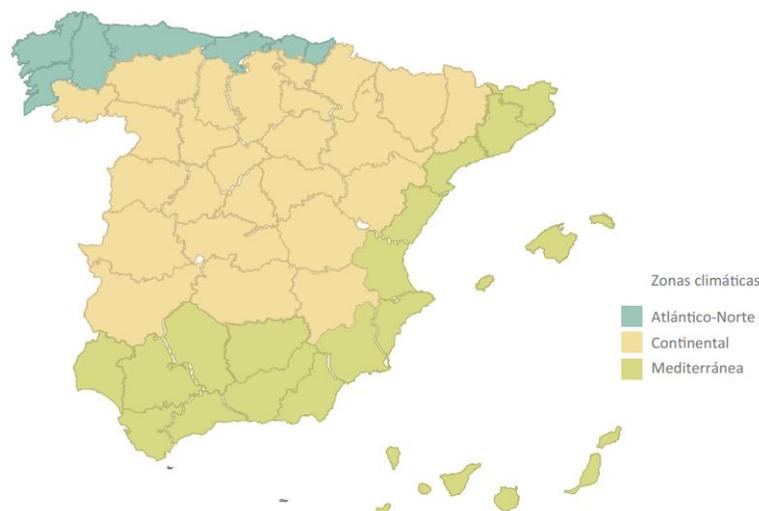
**14. Imagen: Ubicación del barrio Basaundi, en Lasarte, Guipúzcoa. Fuente: Elaboración propia adaptado de Google Earth.**



15. Imagen: Vista aérea del barrio Basaundi Bailara. Fuente: [62]

### 7.2.2. Condiciones climáticas:

Lasarte forma parte de la zona climática Atlántico-Norte según los datos recogidos en el IDAE [63]. Más concretamente, el clima en Lasarte cuenta con veranos cómodos, e inviernos largos, fríos y lluviosos. La temperatura, la cual es una variable para los paneles fotovoltaicos, varía entre los 5 y 25°C, sin llegar a temperaturas extremas.

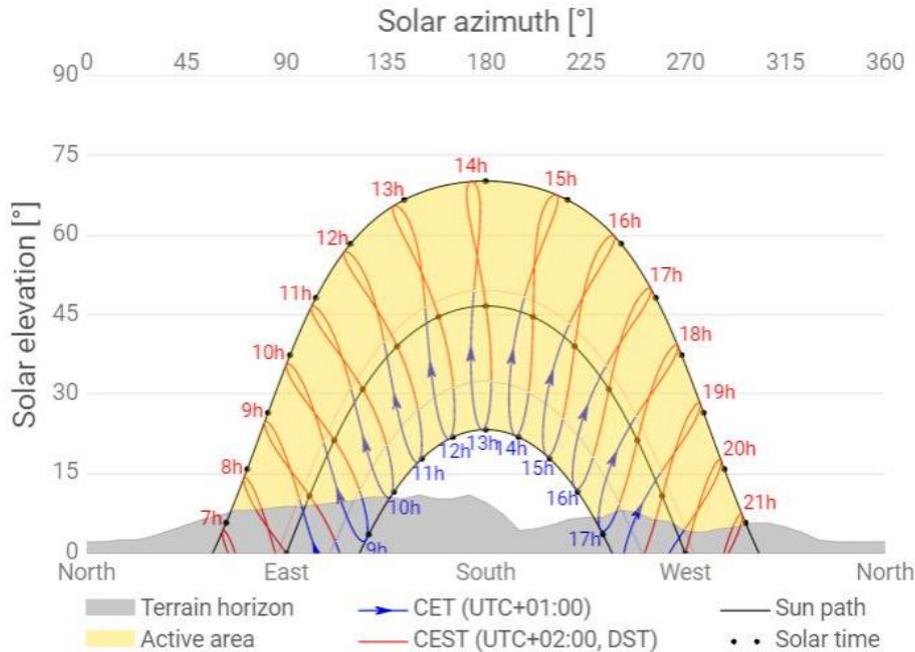


16. Imagen: Distribución de las provincias por zonas climáticas, IDAE. Fuente: [63]

Por otro lado, se ha analizado la duración del día en Lasarte-Oria durante el año mediante el programa Global Solar Atlas [64]. Siendo el día más corto el 21 de

diciembre, con menos de 7 horas de luz natural al día, y el más largo el 21 de junio, con alrededor de 14 horas de luz solar durante el día.

Horizon and sunpath



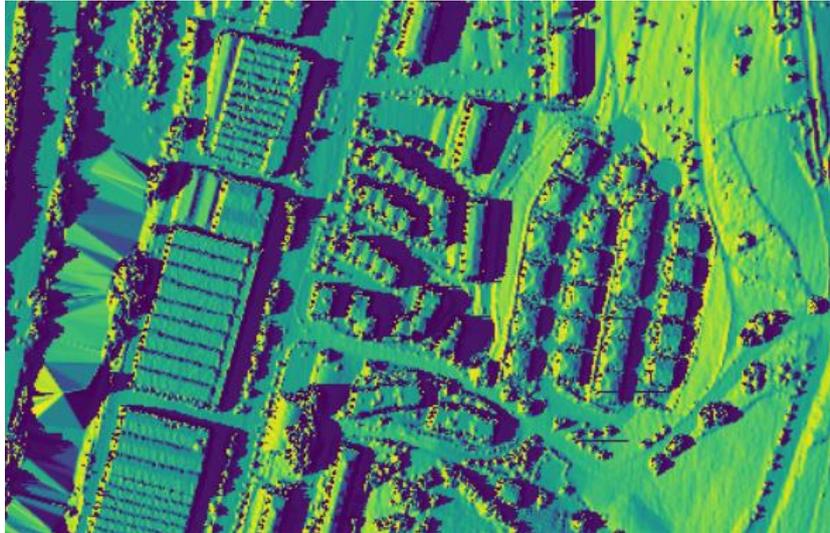
17. Imagen: Horas de luz visible durante el día en Basaundi Bailara. Fuente: [64]

Sin embargo, se debe de tener en cuenta el porcentaje de cielo cubierto con nubes durante el año. Dado que la mayor parte del año, desde la mitad del mes de septiembre hasta la mitad del mes de junio, el 63% del tiempo se tienen cielos nublados o mayormente nublados. La parte más despejada del año, en cambio, trata de los meses de junio hasta septiembre, cuando el cielo está despejado, mayormente despejado o parcialmente nublado un 77% del tiempo. [65]

Estos datos no son del todo favorecedores para el uso de la energía fotovoltaica. Por un lado, la ausencia de temperaturas extremas afectará positivamente en la eficiencia de los paneles. Sin embargo, las pocas horas de luz natural durante el invierno y el alto porcentaje de tiempo nublado, afectarán negativamente a la generación de energía mediante las placas fotovoltaicas. Estas características se tendrán en cuenta en el apartado de cálculos.

### 7.2.3. Datos de radiación:

Los datos de la radiación recibida en los diferentes edificios de Lasarte se han conseguido por medio del programa GRASS GIS. De este modo, se han conseguido diferenciar los edificios óptimos para la instalación de paneles fotovoltaicos en cuanto a su orientación, área y radiación recibida.



**18. Imagen: Radiación recibida el 21 de junio a las 16:00 en Basaundi Bailara (GRASS).  
Fuente: Elaboración propia**

#### **7.2.4. Características de las cubiertas:**

En cuanto a las cubiertas de los edificios, todas ellas tienen una inclinación del 33%, esto es, las cubiertas orientadas hacia el norte, este y oeste poseen una inclinación de 18,26°, mientras que las orientadas hacia el sur cuentan con una inclinación de 30°. Sin embargo, en el barrio la mayoría de los edificios tienen diferentes áreas de cubierta. En la siguiente imagen puede verse la diferenciación de los edificios según la tipología de su cubierta, consiguiendo 11 tipos de edificios diferentes con los que hacer los cálculos.



**19. Imagen: Distribución de los edificios del barrio en función de su tipología. Fuente: Elaboración propia adaptado de Google Earth.**

### 7.2.5. Selección de las fachadas:

Por otro lado, también se analizaron las fachadas de los edificios. Generalmente, las fachadas están completamente cubiertas con ventanas, por lo que la mayoría no es viable para la instalación de paneles fotovoltaicos en ellas. La mayoría de las fachadas útiles para la implementación de tecnología fotovoltaica se encuentran orientadas hacia el oeste, y después hacia el sur. Sin embargo, las fachadas orientadas hacia el norte y el oeste que puedan llevar instaladas paneles fotovoltaicos son escasas. Esto puede ser favorecedor, pues la mayoría de la radiación solar que llega a los edificios incide sobre las fachadas sur, este y oeste.



20. Imagen: Elección de las fachadas orientadas al norte. Fuente: Elaboración propia adaptado de Google Earth.



21. Imagen: Elección de las fachadas orientadas al sur. Fuente: Elaboración propia adaptado de Google Earth.



**22. Imagen: Elección de las fachadas orientadas al oeste. Fuente: Elaboración propia adaptado de Google Earth.**



**23. Imagen: Elección de las fachadas orientadas al este. Fuente: Elaboración propia adaptado de Google Earth.**

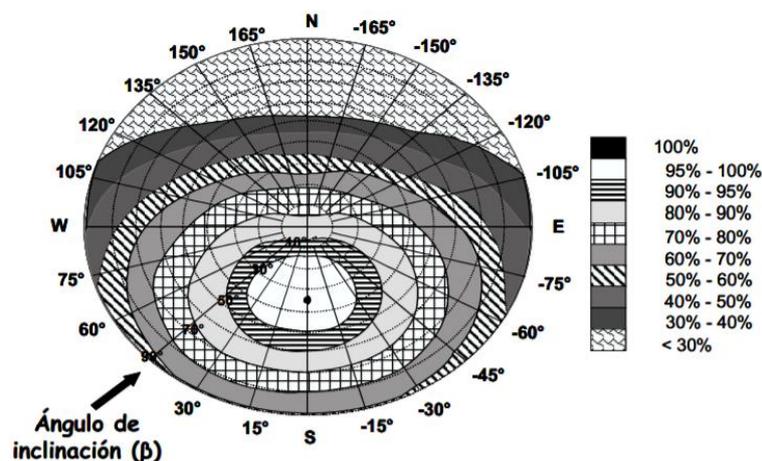
Las fachadas marcadas con un rectángulo verde en las imágenes anteriores son las que se analizarán en el apartado de cálculos.

## 8. CÁLCULOS

### 8.1. CÁLCULO DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA

#### 8.1.1. *Inclinación de los paneles fotovoltaicos:*

Para calcular la inclinación óptima de los paneles fotovoltaicos en las diferentes cubiertas, se debe tener en cuenta el siguiente diagrama:



24. *Imagen: Eficiencia de los paneles fotovoltaicos en función de su orientación e inclinación. Fuente: [66]*

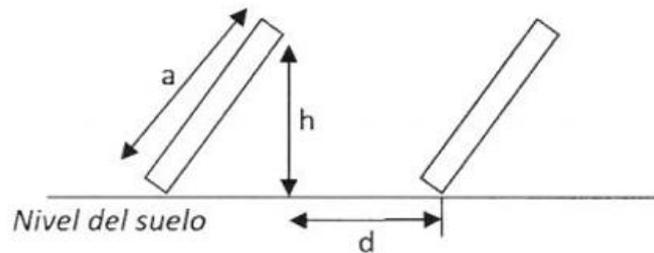
Este diagrama muestra la eficiencia de transformación de cada panel fotovoltaico a la hora de transformar la energía solar en energía eléctrica. En función de la orientación e inclinación de cada panel. En la siguiente tabla se muestra la orientación de las diferentes cubiertas de los edificios del barrio Basaundi y el cálculo de la eficiencia de los paneles fotovoltaicos en cada cubierta. La inclinación de todas las cubiertas son  $18,26^\circ$  y es la inclinación en la que se posicionarán los paneles en la mayoría de casos, pues con esta se consigue la eficiencia máxima para cada orientación y se evita una instalación más para la sujeción de los paneles. En el caso de las cubiertas orientadas al sur, aumentando el grado de inclinación de los paneles fotovoltaicos hasta los  $30^\circ$ , se asegura una eficiencia del 95%.

	Orientación	Inclinación	Eficiencia del panel
<b>Norte</b>	$-165^\circ$	$18,26^\circ$	70%
<b>Sur</b>	$15^\circ$	$30^\circ$	95%
<b>Este</b>	$-75^\circ$	$18,26^\circ$	85%
<b>Oeste</b>	$105^\circ$	$18,26^\circ$	85%

1. *Tabla: Eficiencia de los paneles fotovoltaicos en las cubiertas en función de su orientación*

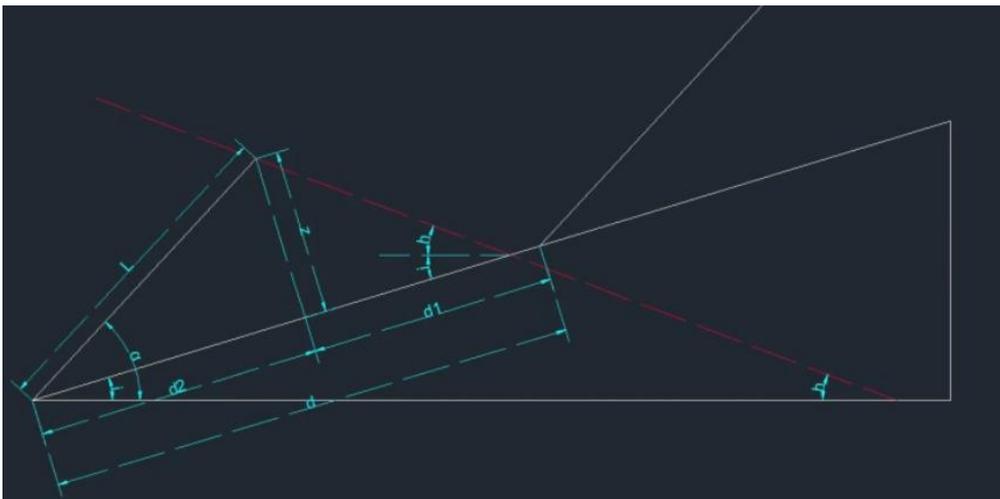
#### 8.1.2. *Distancia mínima entre los paneles fotovoltaicos:*

Otro factor a tener en cuenta es la distancia mínima entre paneles que debe respetarse al instalar las células fotovoltaicas, pues, de no guardar una distancia mínima, los paneles podrían darse sombra los unos a los otros, lo que provocaría una menor captación de luz solar, y un menor rendimiento del sistema. Para calcular la distancia mínima necesaria entre los paneles, se sigue la siguiente fórmula [67]:



**25. Imagen: Distancia mínima entre paneles fotovoltaicos en cubiertas horizontales.**  
Fuente: [68]

Sin embargo, las fachadas del barrio Basaundi no son horizontales, sino inclinadas, con un grado de 18,26°.



**26. Imagen: Distancia mínima entre paneles fotovoltaicos en cubiertas inclinadas.**  
Fuente: [67]

Por lo tanto, la fórmula a seguir será la siguiente:

$$d = 1,25 \cdot (d_1 + d_2) = 1,25 \cdot L \cdot \left[ \frac{\sin(\alpha - i)}{\operatorname{tg}(h + i)} + \cos(\alpha - i) \right]$$

Donde:

- d1: distancia mínima entre paneles
- d: distancia total
- h: altura solar
- L: altura del panel

La altura solar se calcula de la siguiente manera:

$$h = 90^\circ + \varphi + \delta$$

Donde:

- $\varphi$ : Latitud.  $\varphi(\text{Lasarte}) = -43,26^\circ$
- $\delta$ : Declinación solar.  $\delta(21 \text{ diciembre}) = -23,45^\circ$

$$h = 90^\circ + \varphi + \delta = 90^\circ - 43,26^\circ - 23,45^\circ = 23,29^\circ$$

Se ha utilizado la formula anterior para calcular la distancia mínima entre los paneles en función de su inclinación y orientación, y los resultados se han presentado en la 2. Tabla.

Orientación	$\beta$	$i$	$\alpha$	d1 (m)	d2 (m)	d (m)
Norte	$0^\circ$	$18,26^\circ$	$18,26^\circ$	0,4	0,74	2,43
Sur	$12^\circ$	$18,26^\circ$	$30^\circ$	0,6	1,3	2,39
Este	$0^\circ$	$18,26^\circ$	$18,26^\circ$	0,4	0,74	2,43
Oeste	$0^\circ$	$18,26^\circ$	$18,26^\circ$	0,4	0,74	2,43

**2. Tabla: Cálculo de la distancia mínima entre paneles fotovoltaicos en función de su orientación e inclinación**

Como se puede observar, las distancias mínimas son bastante cortas, por lo que se podrá instalar un mayor número de paneles en cada cubierta.

Siguiendo estos cálculos, el número de paneles fotovoltaicos que podrá instalarse en cada cubierta es el siguiente:



**27. Imagen: Distribución de los edificios del barrio en función de su tipología. Fuente: Elaboración propia adaptado de Google Earth.**

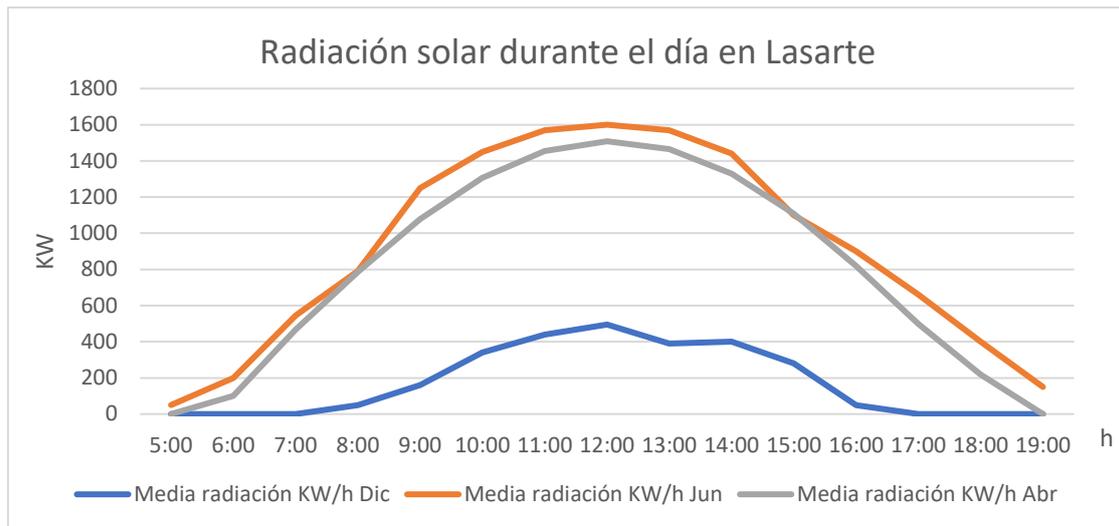
Tipo de edificio	Orientación	Cantidad de paneles por cubierta	Cantidad de paneles totales
1	N	9	9
	S	18	18
2	N	17	17
	S	18	18
3	E	13	13
	O	6	6
4	E	10	10
	O	12	12
5	E	20	140
	O	21	147
6	E	23	161
	O	27	189
7	N	23	23
	S	23	23
8	N	25	25
	S	23	23
9	N	43	43
	S	36	36
10	E	19	19
	O	11	11
11	E	70	70
	O	64	64
TOTAL		531	1077

**3. Tabla: Cantidad de paneles fotovoltaicos que pueden ser instalados en cada cubierta**

Hay que tener en cuenta que las cubiertas número 5 y 6 representan el tipo de cubierta, y realmente hay 7 cubiertas de cada uno de esos tipos. Por eso, en la última columna el número de paneles es mayor, porque corresponde al número de paneles fotovoltaicos que se instalarían en 7 cubiertas de ese tipo. En la tercera columna, en cambio, se presenta el número de paneles fotovoltaicos en una sola cubierta de ese tipo, para tener un dato más concreto, y resulta ser una cantidad parecida al resto de cubiertas.

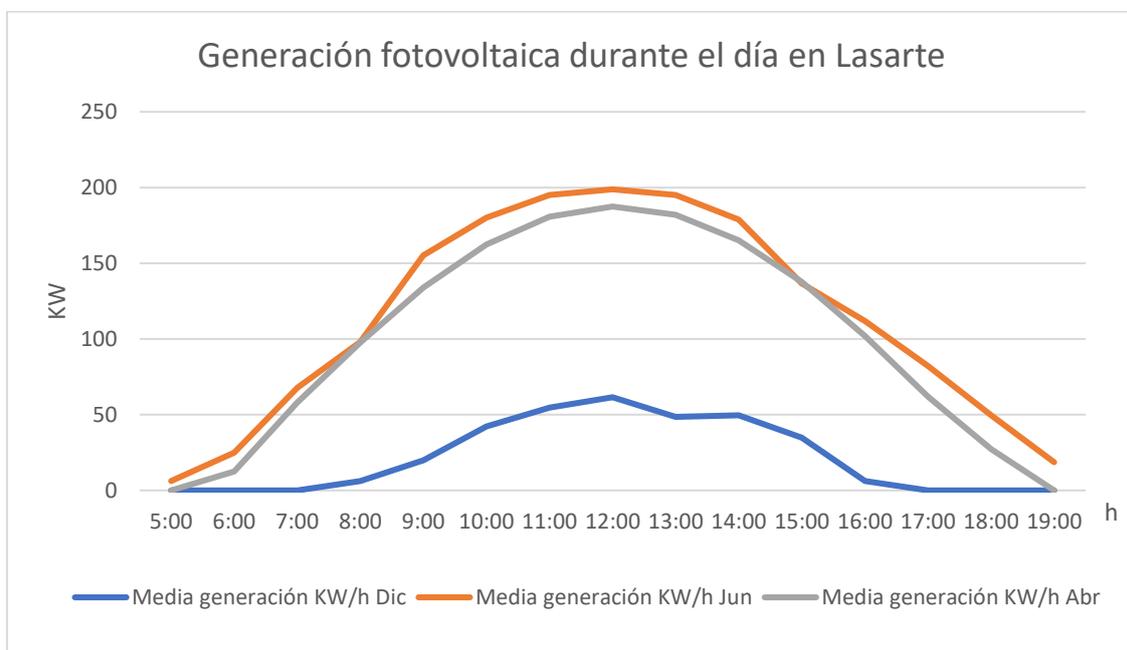
### **8.1.3. Generación de los paneles fotovoltaicos:**

La radiación solar que reciben las cubiertas del barrio de Basaundi durante el día es la siguiente:



**28. Imagen: Radiación de cada cubierta en junio, abril y diciembre. Fuente: Elaboración propia.**

En caso de instalar los sistemas fotovoltaicos en todas las cubiertas del barrio, como se ha analizado en el apartado anterior, se instalarían 1077 paneles fotovoltaicos. Con estos datos, se ha podido realizar el cálculo de la energía eléctrica que se generaría a partir de la instalación fotovoltaica instalada en las cubiertas. Para ello, se ha tenido en cuenta la eficiencia de los paneles, la eficiencia de conversión (suele variar entre 15-19%), las pérdidas del sistema (14%) y el rendimiento del sistema (86%).



**29. Imagen: Generación fotovoltaica en junio, abril y diciembre. Fuente: Elaboración propia.**

Sin embargo, a lo mejor la instalación no habría que realizarla en todas las cubiertas del barrio, pues puede haber cubiertas que generen más energía que otras, en

función de su orientación, inclinación y área útil. Por lo tanto, durante los siguientes apartados se va a analizar la eficiencia de cada cubierta y fachada que pueda servir para implantar energía fotovoltaica, con el objetivo de elegir solamente las áreas óptimas para la implantación de este tipo de energía renovable. Con esto se quiere garantizar una instalación óptima, que cuente con un buen rendimiento y genere el menor gasto económico.

#### **8.1.4. Elección de las cubiertas en función de su generación eléctrica:**

A continuación, se muestra la generación eléctrica típica de cada cubierta del barrio de Lasarte. Las cubiertas se han enumerado de la siguiente manera:



**30. Imagen: Distribución de los edificios del barrio en función de su tipología. Fuente: Elaboración propia adaptado de Google Earth.**

Tipo de edificio	Orientación	Generación típica hora en cada cubierta (W/h*cub)	Generación típica hora por m2 (W/h*m2)
1	N	88	6
	S	238	8
2	N	166	6
	S	238	8
3	E	154	7
	O	71	7

4	E	118	7
	O	142	7
5	E	236	7
	O	248	7
6	E	272	7
	O	319	7
7	N	224	6
	S	304	8
8	N	243	6
	S	304	8
9	N	419	6
	S	476	8
10	E	225	7
	O	130	7
11	E	828	7
	O	757	7

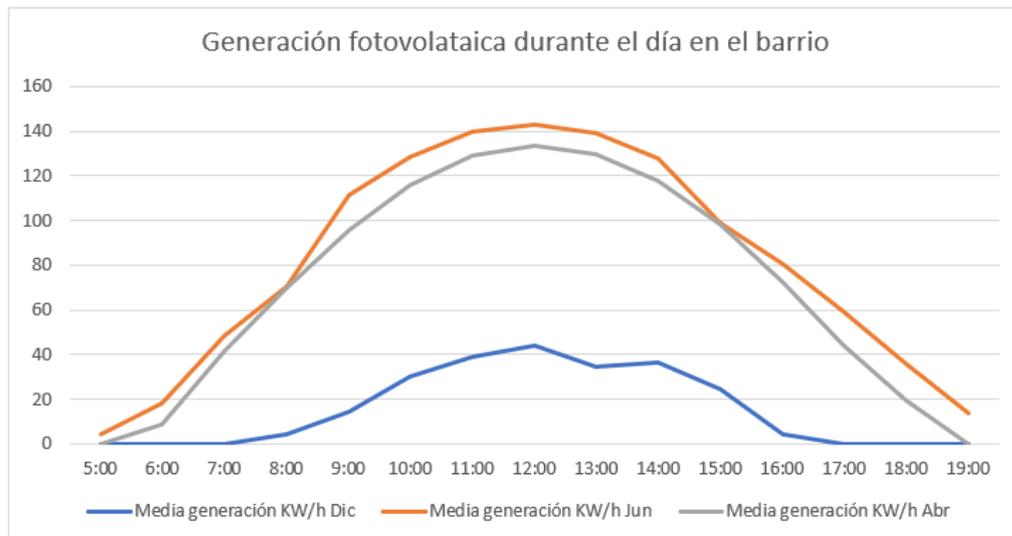
**4. Tabla: Generación eléctrica por cubierta de Basaundi**

Los datos obtenidos se han diferenciado en tres colores principales en función de la cantidad de generación energética que puedan generar: rojo, para los que menos generan, verde, para los que más energía generan, y naranja, para el resto. Como se puede distinguir en la tabla anterior, las cubiertas que más energía generan durante el día son principalmente las orientadas hacia el sur. Además, el edificio 11 también da muy buenos resultados, aunque esté orientado hacia el este y oeste, debido a su gran área. En cambio, las orientadas al norte no dan muy buenos resultados.



**31. Imagen: Plano con la caracterización de las cubiertas del barrio en función de su generación eléctrica hecho en Autocad. Fuente: Elaboración propia.**

De este modo, se ha decidido analizar la curva de generación si se decidiera instalar el sistema fotovoltaico solamente en las cubiertas que generen mayor energía.



**32. Imagen: generación fotovoltaica de las cubiertas elegidas durante el año. Fuente: Elaboración propia.**

La imagen superior muestra la curva de generación que se consigue al limitar la instalación fotovoltaica a las cubiertas óptimas. Si se compara con la curva de generación lograda con la instalación fotovoltaica en todas las cubiertas del barrio, 29. Imagen, se puede comprobar como la generación máxima que se consigue en las horas punta de verano se reduce en este caso, desde los 200KWh a 140KWh. Sin embargo, durante los meses de invierno la energía generada no varía tanto. También se debe tener en cuenta que, al reducir el área de instalación fotovoltaica, la inversión y la amortización de la obra también se reducirán considerablemente. Por lo tanto, esta puede ser una opción para considerar.

### 8.1.5. Elección de las fachadas en función de su generación eléctrica:

En el caso de las fachadas, se han elegido las fachadas que dispongan de pocas ventanas y mucha área libre en la que sea posible instalar sistemas fotovoltaicos. Se enumeran según su orientación:



**33. Imagen: Elección y enumeración de las fachadas orientadas al sur. Fuente: Elaboración propia adaptado de Google Earth.**



**34. Imagen: Elección y enumeración de las fachadas orientadas al norte. Fuente: Elaboración propia adaptado de Google Earth.**



**35. Imagen: Elección y enumeración de las fachadas orientadas al oeste. Fuente: Elaboración propia adaptado de Google Earth.**



**36. Imagen: Elección y enumeración de las fachadas orientadas al este. Fuente: Elaboración propia adaptado de Google Earth.**

En las imágenes puede apreciarse que la mayor cantidad de posibles fachadas para la instalación fotovoltaica se dan en el sur y en el oeste, que son, generalmente, las

mejores orientaciones para la captación de radiación solar. En la siguiente tabla se especifica la generación eléctrica típica de cada fachada.

Orientacion	Fachada	Generación típica hora (W/h)	Generación típica hora por m2 (W/h*m2)
NORTE	1	125	2
	2	167	2
SUR	1	344	5
	2	245	5
	3	153	5
	4	153	5
ESTE	1	535	5
	2	291	5
OESTE	1	211	2
	2	223	2
	3	206	2
	4	83	2
	5	139	2
	6	117	2

**5. Tabla: Generación eléctrica por fachada en Basaundi**

En esta tabla, se puede distinguir como la generación de las fachadas es mucho menor a la que se da en las cubiertas. Esto se debe a diferentes factores, como el grado de incidencia de la radiación solar, que es óptima en el caso de las cubiertas, pero no lo es en el de las fachadas. Por lo tanto, se concluye que la instalación de sistemas fotovoltaicos en las fachadas no sería efectiva y, por lo tanto, no se tendrán en cuenta en la instalación final.

Todos los datos aportados en esta sección de "Cálculos" se recogen más detalladamente en las hojas de Excel que se adjuntan junto a la memoria.

### **8.1.6. Modelización de la instalación fotovoltaica:**

Durante los apartados anteriores se han estudiado la eficiencia de las cubiertas y las fachadas, con el objetivo de instalar los sistemas fotovoltaicos en las áreas óptimas, para poder conseguir un buen aprovechamiento de la energía y ahorro económico en las instalaciones que no sean necesarias. Por lo tanto, se ha decidido que las fachadas no presentan un resultado suficientemente bueno como para instalar la energía solar fotovoltaica en ellas. En cuanto a las cubiertas, se han desechado algunas por el bajo nivel de generación eléctrica que aportan. Dicho esto, la instalación fotovoltaica del barrio Basaundi Bailara será la siguiente:



**37. Imagen: Plano de la instalación fotovoltaica en las cubiertas del barrio hecho en Autocad. Fuente: Elaboración propia.**

En total, se cuenta con un área de 1228 m<sup>2</sup> en estas cubiertas. Se ha supuesto que los paneles fotovoltaicos serán de un tamaño estándar: 1m de ancho y 1,6m de alto. Por lo tanto, se instalarán 432 paneles fotovoltaicos en las cubiertas seleccionadas.

## 8.2. CÁLCULO DE LAS POSIBLES DEMANDAS

A continuación, se van a analizar las posibilidades que pueden tenerse para consumir la energía que se ha generado por medio de la instalación fotovoltaicas. Los factores para analizar serán los siguientes: El uso para el consumo eléctrico de las viviendas del barrio, el consumo eléctrico de la comunidad (Ascensores e iluminación), el consumo para el calentamiento del agua caliente sanitaria de las viviendas y la posibilidad de instalar una estación de carga de vehículos eléctricos, tanto automóviles como bicicletas.

También se analizará la posibilidad de crear combinaciones entre los diferentes consumos, con el objetivo de encontrar el uso que aproveche al máximo la energía generada. Asimismo, se estudiará la posibilidad de crear una comunidad energética entre el barrio y una de las empresas que se encuentran frente al barrio.

Además, estas opciones se analizarán tanto con la generación que se consigue al instalar paneles fotovoltaicos en todas las cubiertas, como con la generación conseguida con la instalación solamente en las cubiertas óptimas.

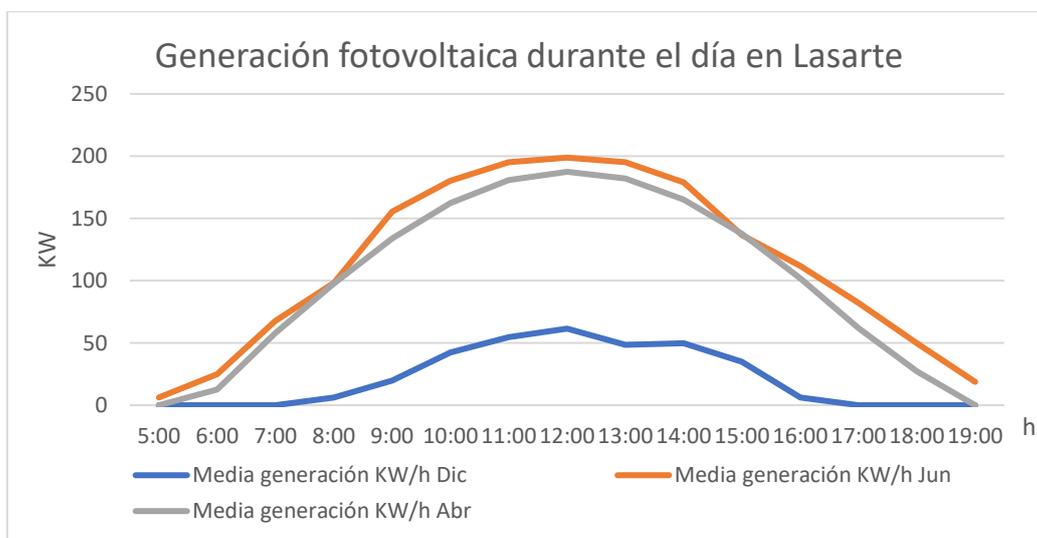
## 9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se analizan las diferentes opciones en cuanto al diseño de la instalación fotovoltaica y el uso que se le podría dar a la energía generada por medio de esta tecnología fotovoltaica.

### 9.1. ALTERNATIVA 1: COMUNIDAD ENERGÉTICA PARA EL AUTOCONSUMO EN VIVIENDAS

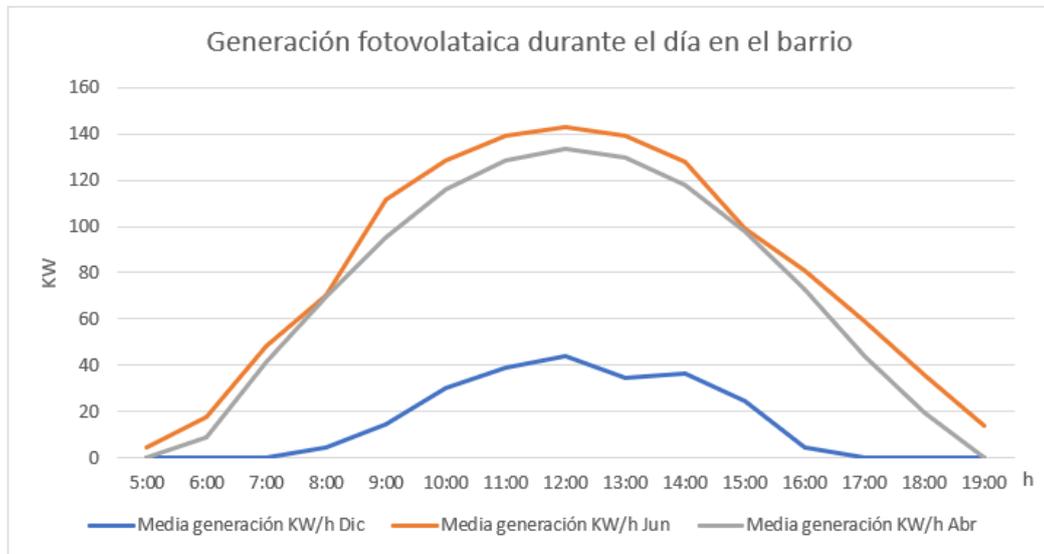
El objetivo de este modelo es la creación de una instalación fotovoltaica, que se instala en las cubiertas de los edificios del barrio Basaundi. Según los cálculos llevados a cabo en la sección "Cálculos" en cuanto a la generación de energía eléctrica por medio de los aparatos fotovoltaicos instalados en las cubiertas elegidas, las curvas de generación eléctrica con las que se van a estudiar los distintos casos de uso de esta energía generada son las siguientes:

Por un lado, la energía obtenida al instalar paneles fotovoltaicos en todas las cubiertas del barrio Basaundi.



**38. Imagen: Generación fotovoltaica de todas las cubiertas durante el día. Fuente: Elaboración propia.**

Por otro lado, se encuentra la curva de generación que se consigue al plantear la instalación fotovoltaica en las cubiertas óptimas del barrio Basaundi, elegidas en el apartado anterior de "Cálculos".



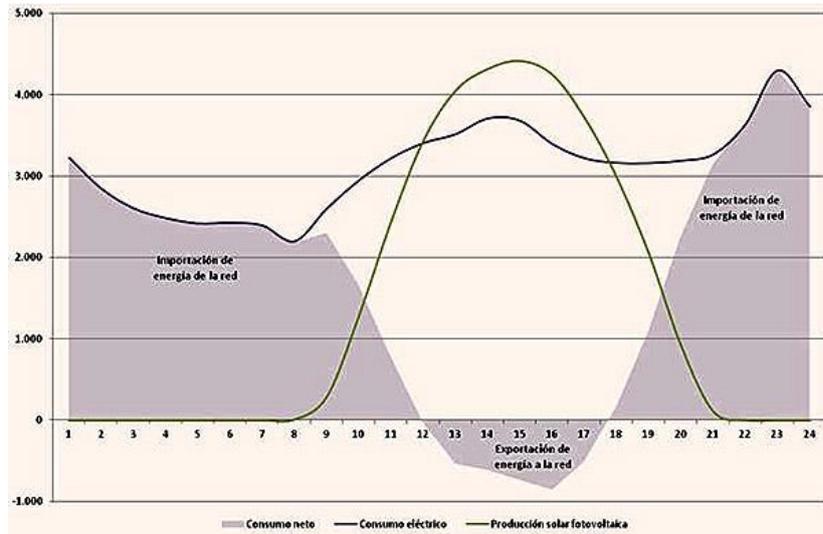
**39. Imagen: Generación fotovoltaica de las cubiertas elegidas durante el día. Fuente: Elaboración propia.**

La instalación más eficiente es la segunda, pues consigue una curva de generación eléctrica parecida, algo más baja, pero con una inversión mucho menor, puesto que se ahorra una gran área de instalación de paneles fotovoltaicos. En general, durante el análisis de las posibilidades de consumo, se tendrá en cuenta la instalación fotovoltaica solamente en las cubiertas óptimas. Sin embargo, en la hoja de Excel "Opciones de consumo" se ha llevado a cabo un análisis mayor en la que se comparan con la curva de generación de ambas instalaciones. Esto no se ha añadido a este trabajo, pues los resultados eran muy parecidos, excepto la diferencia en el ahorro económico.

### **9.1.1. Venta de la energía generada:**

Creación de una red fotovoltaica en las cubiertas de los edificios del barrio, en la que toda la energía generada se vierta a la red eléctrica. Esto es, toda la energía generada por los paneles fotovoltaicos instalados en las cubiertas de los edificios del barrio se vertería a la red eléctrica.

Esta solución se lleva a cabo pues la generación de electricidad mediante la tecnología fotovoltaica es proporcional a la curva de radiación, esto es, genera energía durante un horario limitado, generalmente durante los horarios escolares y laborales. De este modo, en el momento que se genera dicha energía no se tiene suficiente consumo para usarlo, y esta energía se perdería.



**40. Imagen: Comparación entre la generación eléctrica de una instalación fotovoltaica y la demanda eléctrica de las viviendas. Fuente: [69]**

De este modo, la comunidad vecinal conseguiría una recompensación económica por cada KW eléctrico vertido en la red, pero para abastecer su propio consumo eléctrico seguirían utilizando la electricidad de la red eléctrica. El precio del excedente eléctrico varía cada hora, pero es aproximadamente 0,05-0,06€/KWh.

Se ha calculado, que la media de generación eléctrica diaria es alrededor de 6KW/m<sup>2</sup>. Los siguientes datos han sido conseguidos en el Excel adjuntado junto a este trabajo:

Tipo instalación	Área (m <sup>2</sup> )	Generación diaria (KW/día)	Generación anual (KW/año)
<b>Instalación en todas las cubiertas</b>	1724	9551	3487000
<b>Instalación en cubiertas óptimas</b>	1228	6803	2484000

**6. Tabla: Cálculo de la generación eléctrica por la instalación fotovoltaica de Basaundi**

Por lo tanto, en el caso de la instalación en todas las cubiertas, en un año se pueden llegar a generar 3487 MW de energía por medio de los paneles fotovoltaicos, con lo que se conseguiría la siguiente ganancia económica:

$$3487000 \frac{KW}{año} * 0.05 \frac{€}{KW} = 174.350 \frac{€}{año}$$

$$174.350 \frac{€}{año} : 154 \text{ viviendas} = 1132 \frac{€}{año \cdot vivienda}$$

La ganancia económica sería alrededor de 174 mil euros al año, 1132 €/año por vivienda.

Por otro lado, en el caso de la instalación de paneles fotovoltaicas en las cubiertas óptimas, la ganancia económica sería la siguiente:

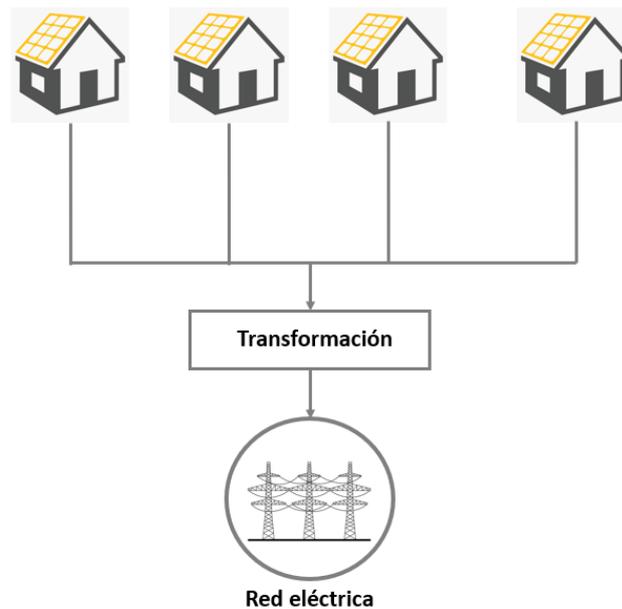
$$2484000 \frac{KW}{año} * 0.05 \frac{€}{KW} = 124.200 \text{ €/año}$$

$$124.200 \frac{€}{año} : 154 \text{ viviendas} = 807 \frac{€}{año \cdot vivienda}$$

La ganancia económica sería alrededor de 124 mil euros al año, 807 €/año por vivienda.

En comparación, las dos instalaciones darían resultados parecidos. Aun así, debe considerarse que la instalación en todas las cubiertas impone una mayor inversión. Sin embargo, en esta propuesta toda la energía generada se vendería a la red, lo que supone que el gasto económico de la energía necesaria en el día a día de las viviendas del barrio seguiría siendo el mismo.

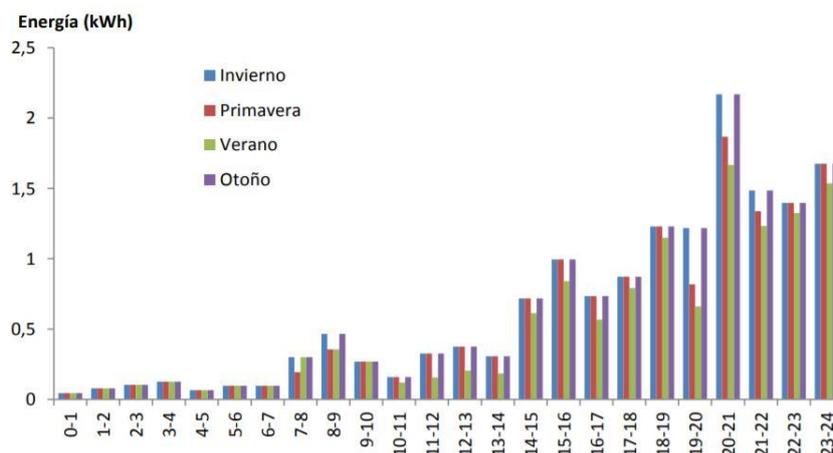
Gráficamente, este sistema podría representarse de la siguiente manera:



**41. Imagen: Esquema del funcionamiento de la opción de verter la energía generada a red. Fuente: Elaboración propia.**

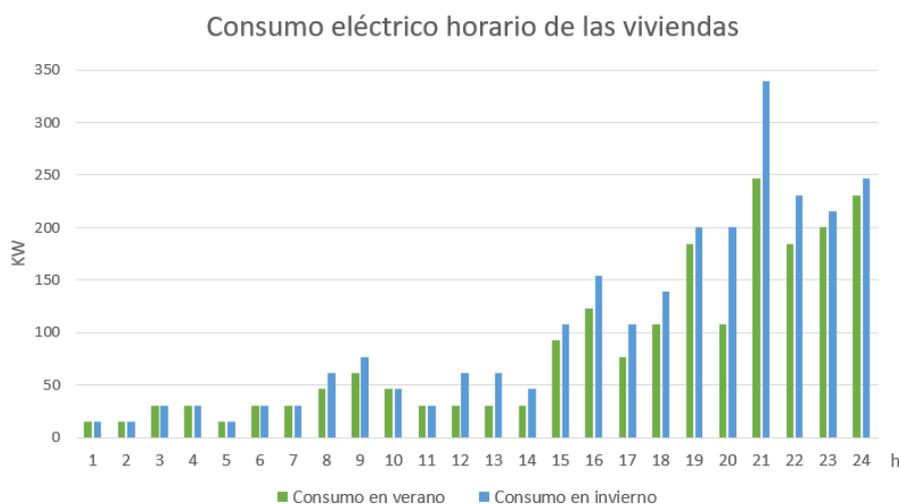
### 9.1.2. Abastecimiento del consumo eléctrico de las viviendas:

Creación de una red fotovoltaica en los edificios del barrio, utilizada para el abastecimiento del consumo eléctrico de las viviendas. El consumo eléctrico diario medio de una familia de 4 personas durante las diferentes estaciones es el siguiente [70]:



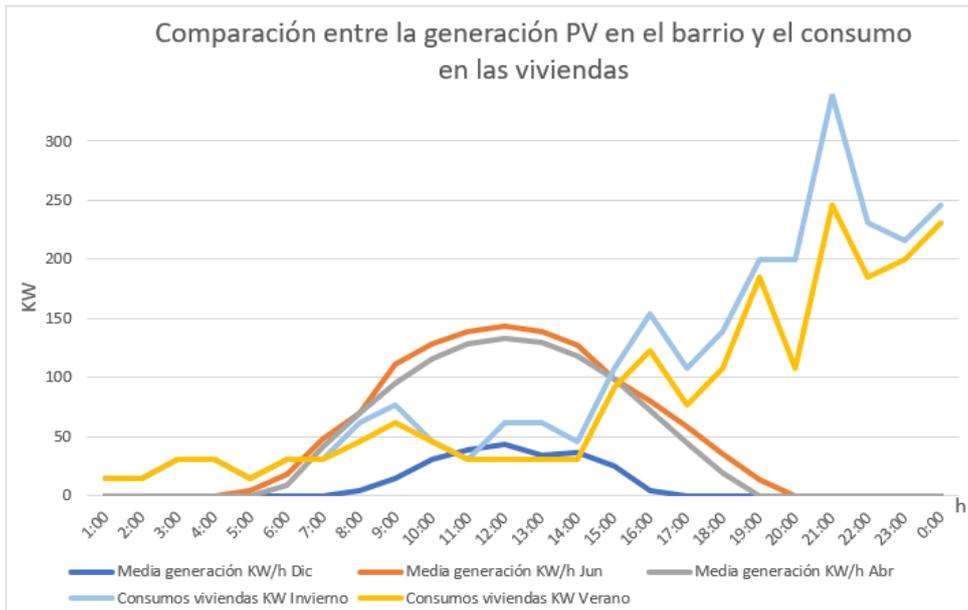
**42. Imagen: Comparación del consumo eléctrico de una vivienda según la estación.**  
Fuente: [70]

Tomando como base la gráfica anterior para los cálculos de este apartado, y sabiendo que el número de viviendas en el barrio Basaundi es de 154, se ha conseguido calcular el consumo eléctrico medio de las viviendas del barrio en diferentes estaciones:



**43. Imagen: Consumo eléctrico de una vivienda durante el día en verano e invierno.**  
Fuente: Elaboración propia.

Como puede verse, el consumo de electricidad tiene su importancia durante la tarde y noche, lo cual, no es especialmente compatible con las horas de generación de energía mediante tecnología fotovoltaica. Esto se puede comprobar con la siguiente imagen, en la que se compara la generación de energía solar producida por medio de la instalación fotovoltaica implementada en las cubiertas del barrio, y el consumo de electricidad de las viviendas durante el día.



**44. Imagen: Comparación entre la generación fotovoltaica y el consumo eléctrico en las viviendas de Basaundi. Fuente: Elaboración propia.**

Analizando la imagen, se puede decir que, en los días de verano, la instalación fotovoltaica será capaz de abastecer la energía eléctrica de las viviendas al completo desde las 7:00 de la mañana hasta las 15:00, pero a partir de esta última hora, que es cuando empieza a ascender el consumo de electricidad, solo podrá abastecerse una pequeña parte. Además, en invierno, la energía generada no se llega a abastecer al completo en ningún momento del día, esto es, solo puede abastecerse una parte del consumo, provocando que la mayor parte del consumo eléctrico de las viviendas durante los días de invierno deba ser comprada de la red eléctrica.

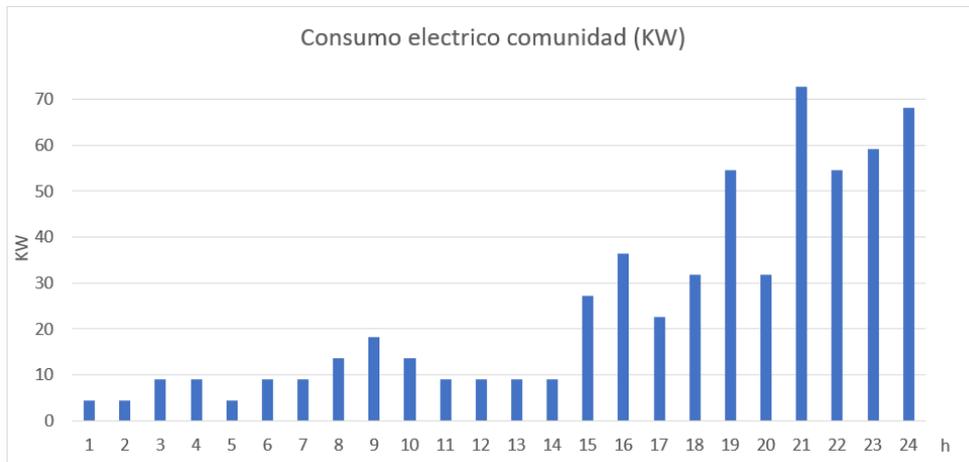
Aun así, cabe destacar que, en verano, durante la mayor parte del tiempo se tiene excedentes de energía generada, por lo que la instalación sería capaz de abastecer otros consumos o se podría vender esa energía a la red, consiguiendo un ahorro económico en ambos casos.

Otro cambio para hacer de esta elección más efectiva puede ser el uso de baterías. De este modo, la energía generada se acumularía en ellas durante las horas punta del día y se utilizaría por la tarde y noche, en las horas con más consumo. Sin embargo, esta opción no es la mejor, puesto que, al disponer de un consumo eléctrico tan alto, para abastecer del todo este consumo el número de baterías también aumentaría demasiado, llegando a más de 15 baterías.

### **9.1.3. Abastecimiento del consumo eléctrico de la comunidad:**

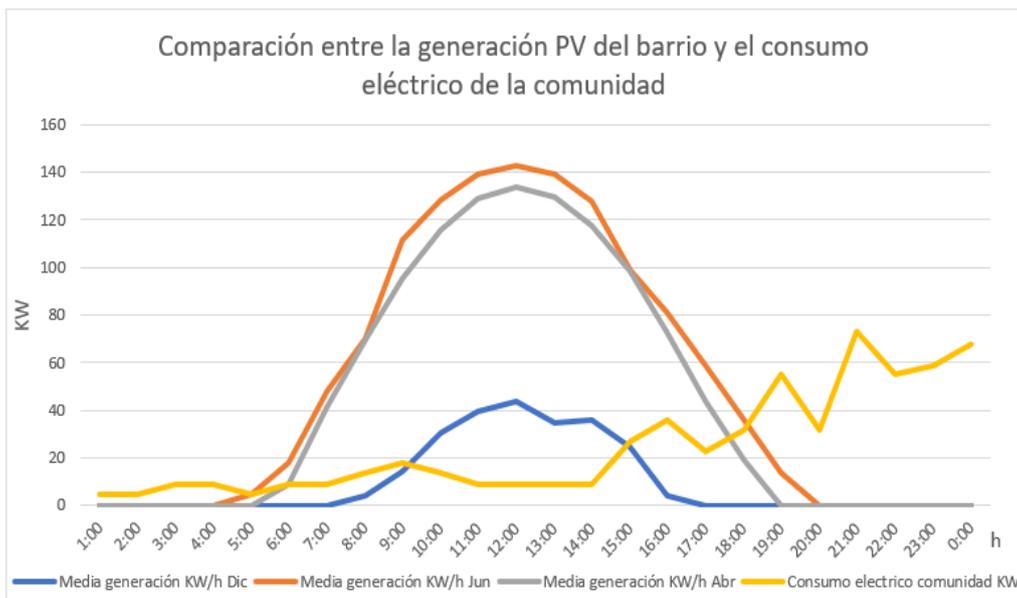
Creación de una red fotovoltaica en los edificios del barrio, utilizada para el abastecimiento del consumo eléctrico de las zonas comunitarias de los edificios del barrio Basaundi. Los datos de los consumos de la electricidad de la comunidad no son exactos, sino una hipótesis. Se compone por un ascensor en cada bloque que funciona al día durante una media de 6 horas, y 4 bombillas en cada piso de 0,05KW que funcionan también con una media de 6 horas al día. Teniendo en cuenta que el

barrio cuenta con 16 bloques de 5 pisos cada uno. Con estos datos se ha conseguido el consumo total de la electricidad de la comunidad en el barrio, y se ha dividido en horas siguiendo el gráfico del consumo de electricidad en las viviendas, consiguiendo el consumo eléctrico de la comunidad al día por horas:



**45. Imagen: Consumo eléctrico de la comunidad durante el día. Fuente: Elaboración propia.**

Además, comparándolo con la generación diaria de energía fotovoltaica en el barrio, se consigue la siguiente gráfica:



**46. Imagen: Comparación entre la generación fotovoltaica y el consumo eléctrico de la comunidad de Basaundi. Fuente: Elaboración propia.**

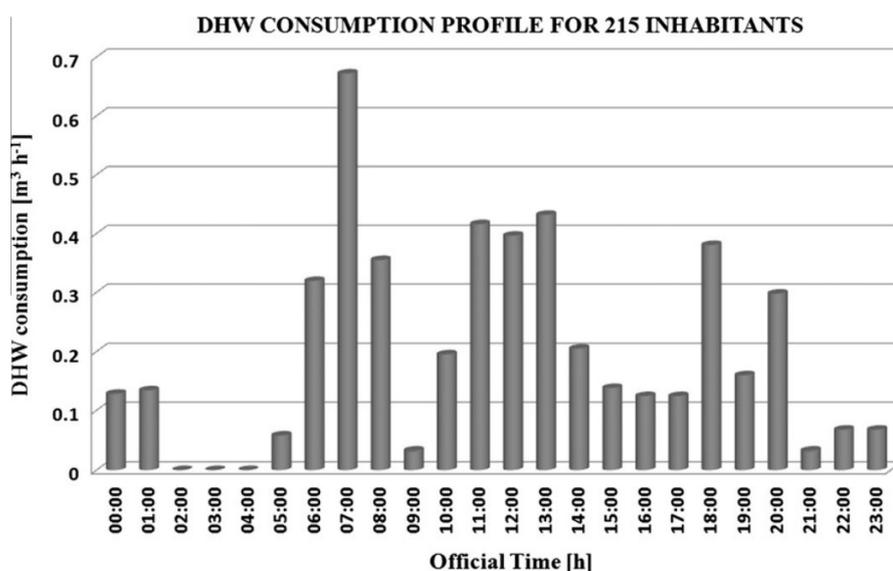
Como puede verse, el consumo eléctrico de las instalaciones de la comunidad es bastante bajo, por lo que, durante los meses de verano, puede abastecerse completamente de 5 a 19, y durante los meses de invierno, de 9 a 15, pudiendo abastecer parte del consumo durante el resto del día.

En este caso, debido al bajo consumo, podrían crearse diferentes combinaciones con otros usos para conseguir un aprovechamiento máximo de la energía generada mediante la instalación fotovoltaica del barrio. Aun así, no se propondrá la combinación del consumo eléctrico de las viviendas junto con el de la comunidad, pues, aunque el consumo de la comunidad sea significativamente bajo, el de las viviendas es demasiado alto en invierno como para abastecerlo al completo, como se ha demostrado en el apartado anterior.

#### 9.1.4. **Abastecimiento del agua caliente sanitaria del barrio:**

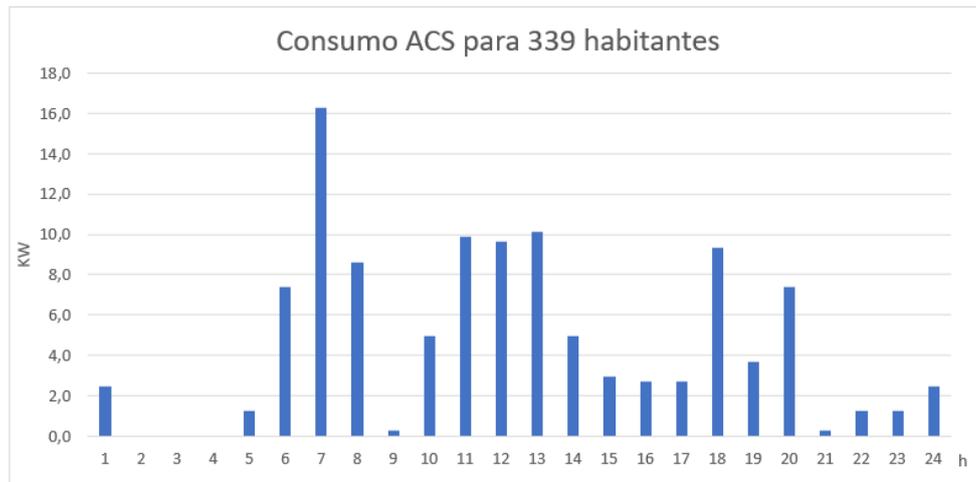
Creación de una red fotovoltaica en los edificios del barrio, utilizada para el calentamiento de agua caliente sanitaria (ACS). En esta instalación se utilizará la energía eléctrica generada mediante los paneles fotovoltaicos para el calentamiento del ACS por medio de acumuladores y bombas de calor. Esta solución es una opción eficiente, pues acumula la energía generada a modo de calor en los tanques durante el día, hasta el momento de ser necesitada, y proporciona a los habitantes de un ahorro económico del agua caliente.

El consumo del barrio de ACS, se ha conseguido utilizando como base la siguiente ilustración:



47. Imagen: Consumo de ACS de 215 habitantes durante el día. Fuente: [71]

Para los cálculos del consumo de agua caliente sanitaria del barrio Basaundi, se implementa como base la imagen anterior, obviando que se trata del consumo de 215 habitantes, pues en el caso del barrio Basaundi actualmente cuenta con 339 residentes.



**48. Imagen: Consumo de ACS de la vecindad de Basaundi durante el día. Fuente: Elaboración propia.**

Por otro lado, se ha calculado el dimensionamiento de los acumuladores de ACS. Estos son necesarios para acumular el agua que se calienta durante las horas de sol hasta el momento en el que los residentes del barrio necesitan utilizarla. El objetivo de estos es conseguir que el agua que sale de los mismos a las viviendas del barrio lo haga a 45°C. Para ello, se han seguido los pasos establecidos en el IDAE [72]. Se ha concluido que para el calentamiento del 100% del ACS del barrio hace falta una capacidad de acumulación de 4000L, que necesitará alrededor de 5 horas para calentarse al completo. Estos pueden dividirse en tres acumuladores diferentes de las siguientes características, que podrían estar separados, y así cada uno estaría cerca de una zona del barrio, minimizando las pérdidas de calor en el transporte del agua a las viviendas.

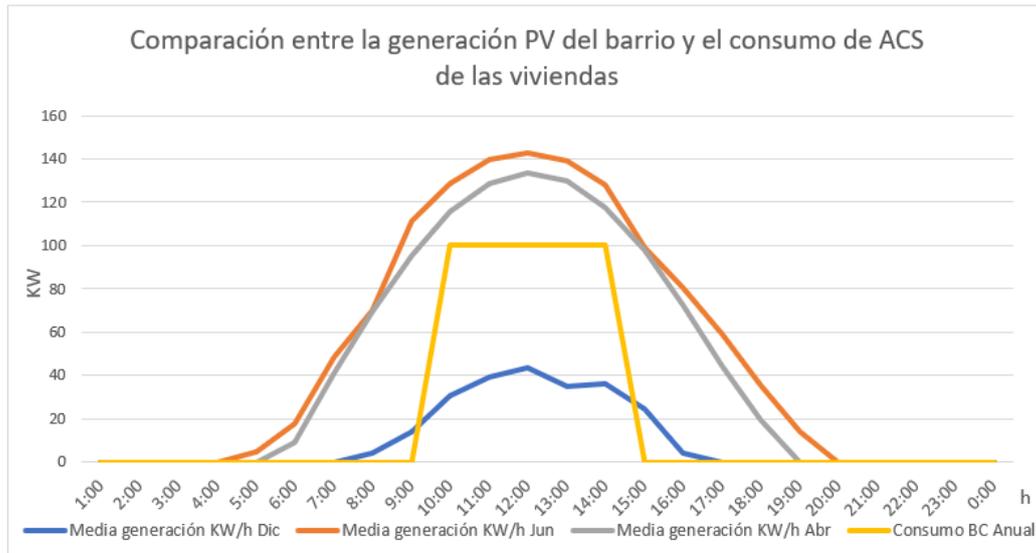
Acumulador	Volumen (L)	Diámetro (mm)	Altura (mm)
<b>1</b>	1500	1200	1660
<b>2</b>	1500	1200	1660
<b>3</b>	1000	900	1850

**7. Tabla: características de los acumuladores de ACS necesarios**

Para calentar la cantidad esta cantidad de agua se ha calculado que se necesitan 476KW al día que, como se ha mencionado antes, se llevará a cabo durante 5 horas, por lo que se necesita un consumo de 95,2 KW/h.

Para el calentamiento del agua se ha optado por el uso de bombas de calor, puesto que tienen mayor potencia que las resistencias térmicas a la hora de proporcionar calor a una gran cantidad de agua. El agua se calentará a 60°C, para cumplir con los 45°C mínimos del agua a la salida del acumulador. Para ello, se usarán 4 bombas de calor de 25KW cada una, lo que supone un consumo total de 500KW diarios.

La comparación entre la generación producida por la instalación fotovoltaica del barrio Basaundi y el consumo de las bombas de calor es el siguiente:



**49. Imagen: Comparación entre la generación fotovoltaica y el consumo de ACS de las viviendas de Basaundi. Fuente: Elaboración propia.**

Por medio de esta ilustración se puede concluir que, durante los meses de verano, la energía generada en el barrio sería capaz de abastecer todo el consumo de agua caliente sanitaria, proporcionando a la vecindad ACS "gratis". Sin embargo, en invierno solo puede abastecerse aproximadamente la mitad del consumo del calentamiento del agua. Por lo tanto, en invierno debería utilizarse electricidad de la red para calentar el agua, aunque podría hacerse durante la noche, aprovechando la factura nocturna, que es más económica que la del día, y en cambio, en verano, tenerla gratis.

Sin embargo, la generación de electricidad en verano es mucho mayor, y podría utilizarse para abastecer algún otro consumo. Por lo contrario, el excedente de energía generada se vendería a la red eléctrica, consiguiendo un ahorro económico en ambos casos.

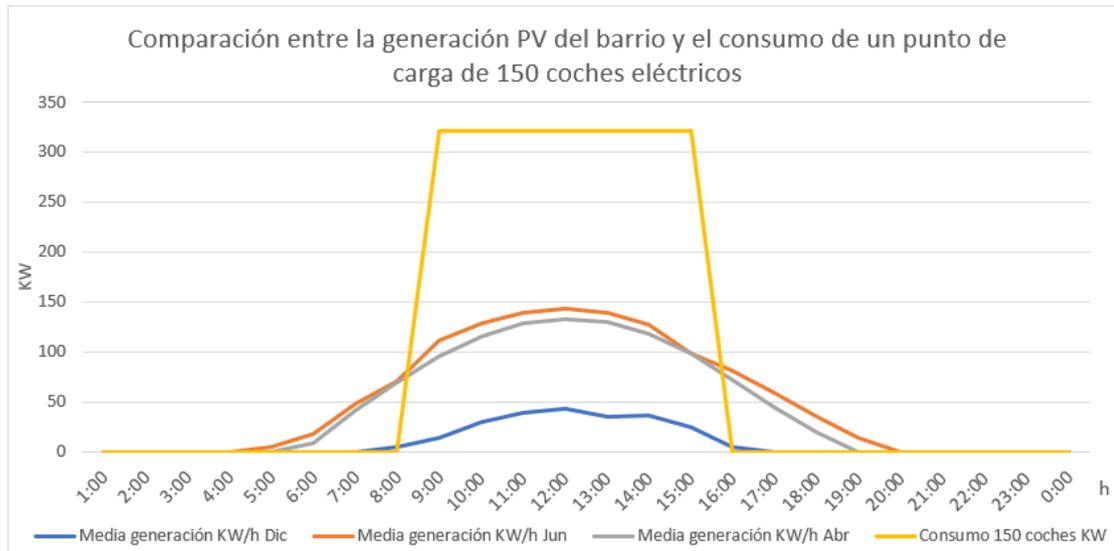
### **9.1.5. Abastecimiento de una estación de carga de coches eléctricos:**

Es un hecho que los automóviles eléctricos están siendo cada vez más utilizados. Durante los próximos años, la sociedad va a experimentar un gran cambio hacia el uso de automóviles eléctricos, no solo por ser respetuosos con el medio ambiente, pero también gracias a sus numerosas ventajas. Cada vez los coches eléctricos son más baratos y disponen de beneficios en el aparcamiento y peajes.

Además, en España se ha aprobado el Proyecto de Ley de Cambio Climático y Transición Energética [73], en el que se marca el objetivo de llegar a 2050 con un parque de turismos sin emisiones directas de CO<sub>2</sub>. Para cumplir con este objetivo, se propone la prohibición de venta de vehículos de combustión a partir de 2040, esto es, a partir de esa fecha, todos los vehículos comercializados deberán ser 0 emisiones. Esta ley aun no es definitiva, pero deja claro que en los próximos años los automóviles de cero emisiones van a tener un gran impulso.

Por lo tanto, en este apartado se estudiará el uso de la energía generada mediante la instalación fotovoltaica para el abastecimiento de una estación de carga para coches eléctricos.

Una carga de coche eléctrico tiene un consumo de 35KW, dura entre 6 y 8 horas y equivale aproximadamente a 200Km. Se ha supuesto que una persona hace una media de 50Km al día en coche, por lo que se tardará alrededor de 4 días en consumir toda la carga de cada coche, esto es, debería cargarse 2 o 3 veces por semana, tomando una media de 100KW a la semana por coche. Como el barrio cuenta con 154 viviendas, y teniendo en cuenta que por vivienda solo se tendrá un coche, se propone un punto de cara de 150 vehículos:



**50. Imagen: Comparación entre la generación fotovoltaica de Basaundi y el consumo de un punto de carga de 150 coches eléctricos. Fuente: Elaboración propia.**

Esta carga es demasiado alta como para poder abastecerse al completo en cualquier momento del año con la instalación fotovoltaica de la que disponemos, de hecho, es el consumo más alto hasta el momento.

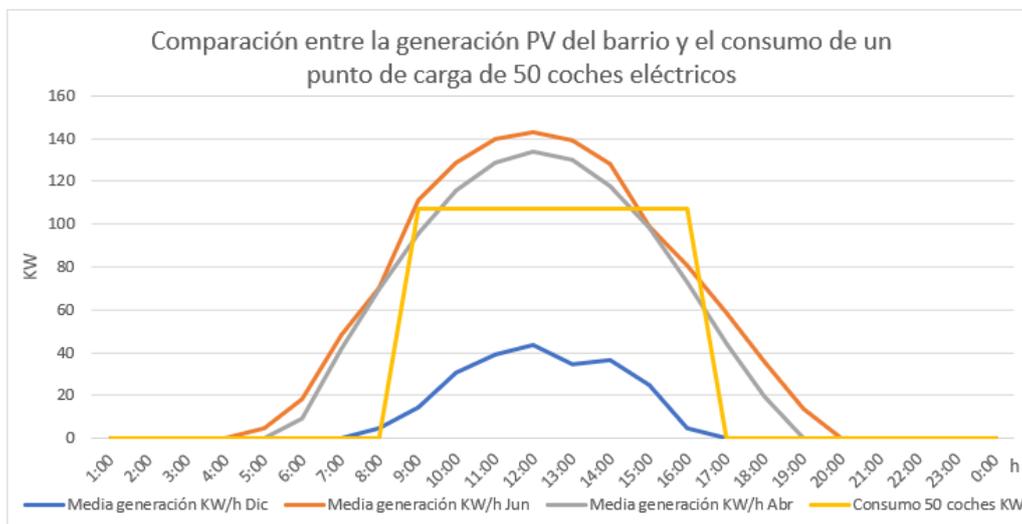
Con este resultado se puede remarcar el innecesario uso de los automóviles privados. Aunque el uso de los automóviles eléctricos es generalmente respetuoso con el medio ambiente, para funcionar necesitan grandes cantidades de energía, que solo llegaría a ser 100% respetuosos con el medio ambiente si la energía que se utiliza tiene orígenes renovables. Además, hoy en día el uso del coche privado es muy elevado, lo cual no solo crea desventajas ambientales, sino económicas y culturales. Por ejemplo, el uso desmedido del automóvil genera una ruptura del espacio urbano, lo cual afecta a las relaciones sociales [74]. Al aumentar el tráfico en una carretera, disminuye la convivencia social en la misma [75], pues genera una sensación de inseguridad e incomodidad para los habitantes.

Asimismo, los accidentes de tráfico se encuentran dentro de las principales causas de mortalidad en España. En el mundo se estima que cada año mueren 1.2 millones de personas y 50 millones de personas resultan discapacitadas o traumatizadas por accidentes viales que, además, producen costes económicos.

Frente a esto, se encuentran diferentes opciones, como el transporte público o el car *sharing*, esto es, el uso compartido del automóvil. En este proyecto, se plantea instalar un punto de carga de vehículos eléctricos para los residentes del barrio Basaundi. Con la cantidad de energía que se genera en la instalación fotovoltaica del barrio no puede abastecerse un vehículo eléctrico por vivienda. Esto no significa que

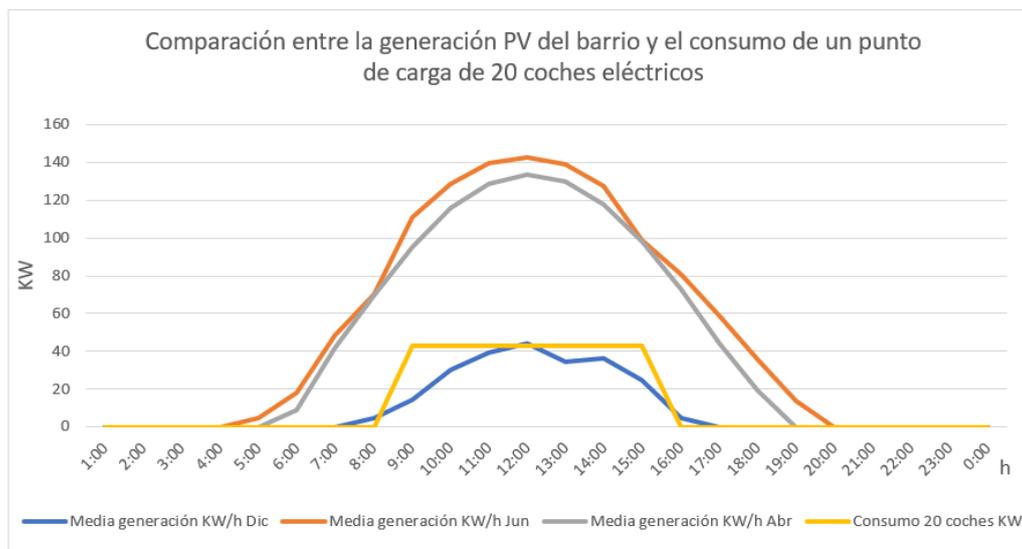
solo ciertas familias puedan disponer de automóvil eléctrico, pues en Lasarte se cuenta con tres gasolineras con punto de carga de vehículos eléctricos. Pero puede ser un paso a delante en el uso compartido de vehículos cero emisiones.

En consecuencia, se ha estudiado el consumo de un punto de carga de 50 vehículos, lo que podría ser una primera estación que podría ir mejorándose y aumentando con el tiempo. Sin embargo, este consumo también ha resultado ser demasiado alto.



**51. Imagen: Comparación entre la generación fotovoltaica de Basaundi y el consumo de un punto de carga de 50 coches eléctricos. Fuente: Elaboración propia.**

Como se puede comprobar en la gráfica, en verano se dispone de suficiente energía generada como para poder abastecer al completo el consumo de la carga de los coches eléctricos. En cambio, en invierno el consumo llega a ser más del doble que la generación eléctrica. Por lo tanto, se propone, una estación de carga de veinte coches eléctricos.



**52. Imagen: Comparación entre la generación fotovoltaica de Basaundi y el consumo de un punto de carga de 20 coches eléctricos. Fuente: Elaboración propia.**

En este caso, como ocurre en el caso anterior, en verano se dispone de suficiente energía como para abastecer el consumo total de las cargas de los coches eléctricos. Además, en invierno, se consigue abastecer la mayor parte del consumo. Se debe tener en cuenta que las horas de consumo se han elegido por ser las horas punta de generación fotovoltaica, pero habrá días en las que se estén utilizando los vehículos durante esas horas y tendrán que ser cargados en otros periodos de tiempo. En el caso de que no se disponga de suficiente energía fotovoltaica como para abastecer la carga de los vehículos, sería conveniente realizar la carga durante la noche, para aprovechar la factura nocturna.

Además, dado que en verano se dispone de mucha más energía de la consumida, podría realizarse alguna combinación con otros consumos para aprovechar esa energía al máximo, de otro modo, como se ha mencionado anteriormente, podrá venderse a la red eléctrica. No obstante, como ha ocurrido en casos anteriores, no se propone la opción de combinar el consumo de las viviendas con el de los vehículos eléctricos, pues el consumo de las viviendas ya es suficientemente alto como para abastecerlo completamente en invierno.

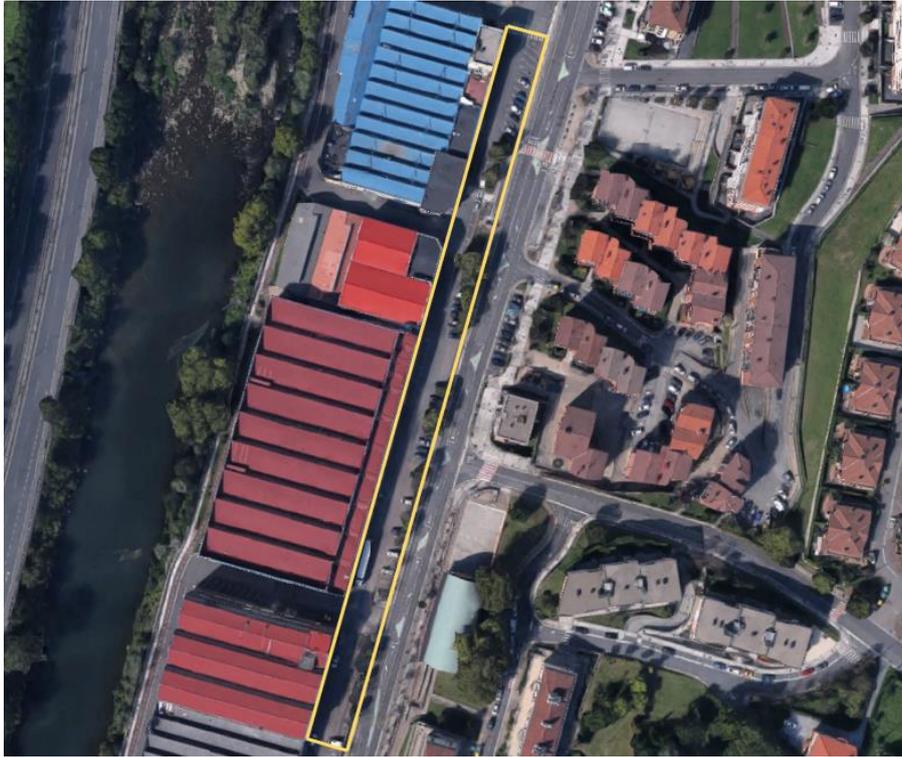
Este punto de carga puede localizarse en dos lugares: Por un lado, puede servir para recargar automóviles de los habitantes del barrio y, en este caso, la estación estaría ubicada en el aparcamiento del barrio.



**53. Imagen: Posible ubicación de la estación de carga de vehículos eléctricos. Fuente: Elaboración propia.**

Esta estación podría ser utilizada por los habitantes de Basaundi y, en un futuro y con una generación eléctrica mayor, podría ser pública y utilizada por todos los conductores que la necesiten, a cambio de una aportación económica.

Por otro lado, cabe la posibilidad de instalar la estación eléctrica en el aparcamiento de las industrias que se encuentran frente al barrio. Los trabajadores de las empresas estacionan sus vehículos mientras las horas de trabajo, que coinciden con las horas de mayor radiación solar, y con ello, mayor generación eléctrica. De este modo, los trabajadores de las industrias podrían aprovechar esta energía para cargar sus automóviles. Sin embargo, esta resultaría una estación de escala pequeña en comparación con el número de trabajadores que pueden llegar a juntarse en un día.

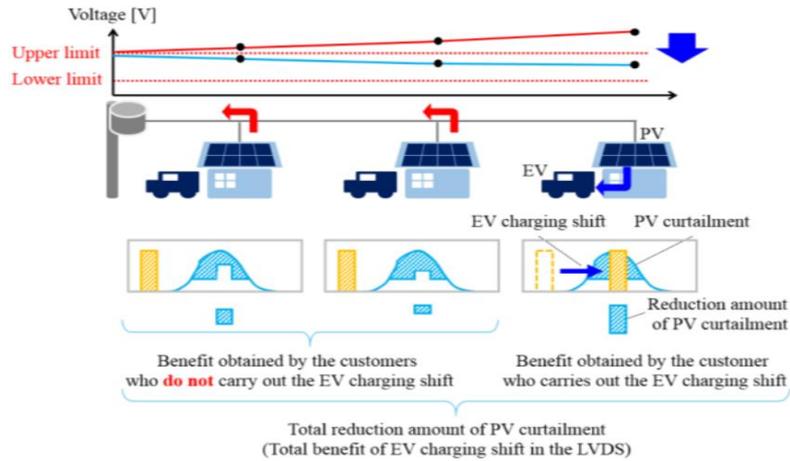


**54. Imagen: Posible ubicación de la estación de carga de vehículos eléctricos. Fuente: Elaboración propia adaptado de Google Earth.**

Sin embargo, se debe tener en cuenta que las fuentes de energías renovables, como las instalaciones fotovoltaicas, conllevan nuevos desafíos en cuanto a las fluctuaciones de potencia y voltaje, sobre todo en áreas residenciales [76].

Además, la instalación de una estación de carga de vehículos eléctricos aumenta el estrés de la red durante los periodos de alta demanda. Esto provoca recortes de potencia causados por el aumento de voltaje, sobre todo en los sistemas de distribución de bajo voltaje [77]. Esto es, se crean situaciones en las que por características de la red de baja tensión se debe recortar la potencia generada (energía irrecuperable en el futuro), y se reduce la potencia inyectada a la red.

Por consiguiente, en el caso de instalar un punto de carga de vehículos eléctricos, también se necesitaría implantar un sistema de control que gestione la carga y descarga de los vehículos en los momentos en los que se dan los recortes de potencia fotovoltaica. Esto reduce los recortes de potencia y aumenta tanto la energía generada, como la energía auto consumida localmente por la instalación, mitigando los impactos de la fuente de energías renovables y los vehículos eléctricos [78].



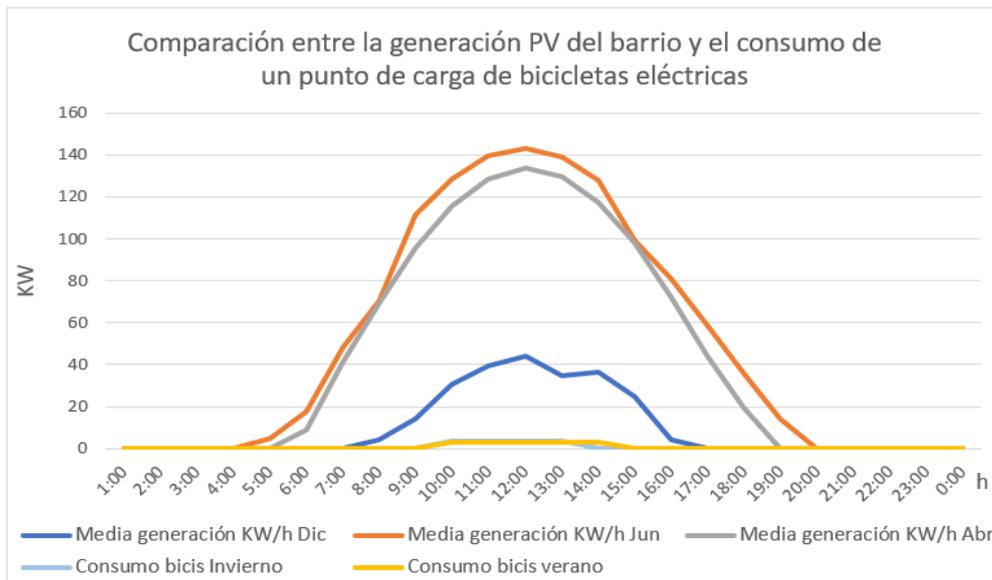
55. Imagen: Sistema de control de carga de vehículos. Fuente:[79]

### 9.1.6. Abastecimiento de estación de carga de bicicletas eléctricas

Creación de una red fotovoltaica en los edificios del barrio, utilizada para abastecer una estación de carga de 30 bicicletas eléctricas.

Una carga de una bicicleta eléctrica consume 0,5KW y tarda unas 4-5 horas, el equivalente a 60-70Km. Por el hecho de que no todos los residentes del barrio usarán esta infraestructura se propone una instalación de 30 bicicletas. Además, se ha supuesto que una persona recorre de media un recorrido de unos 10-15 Km al día, por lo que generalmente, necesitarán una recarga cada 4 días. Aun así, se tendrá en cuenta que en verano serán más utilizadas que en invierno. Por lo tanto, durante los meses de verano (mayo-octubre) se supondrá que necesitan una carga cada 3 días, lo que supone un consumo de 45KW a la semana. En cambio, de noviembre a abril, tendrán un menor uso, y necesitarán recargarse menos veces, cada 5 días, más o menos, lo que supone un consumo menor, de 15KW a la semana.

Con estos datos, se ha comparado la generación fotovoltaica creada en las cubiertas de los edificios de Basaundi y el consumo de las bicicletas eléctricas. La recarga de las bicicletas se podrá realizar en cualquier momento, pero en este caso se han establecido durante las horas punta de generación, para poder abastecerlas por medio de energía fotovoltaica.



**56. Imagen: Comparación entre la generación fotovoltaica y el consumo de un punto de carga de 30 bicicletas eléctricas en Basaundi. Fuente: Elaboración propia.**

Como puede comprobarse en la imagen, el consumo de las recargas de las bicicletas eléctricas es muy bajo, en cualquier momento del año, por lo que se puede combinar sin problema con otros consumos y necesidades. La estación de bicicletas no ocupa demasiado sitio y teniendo en cuenta que las calles de dentro del barrio están recientemente peatonalizadas, podría ubicarse en la calle paralela a la carretera, en cualquiera de los espacios detectados en la imagen siguiente:



**57. Imagen: Posibles ubicaciones para la estación de carga de bicicletas eléctricas en Basaundi. Fuente: Elaboración propia.**

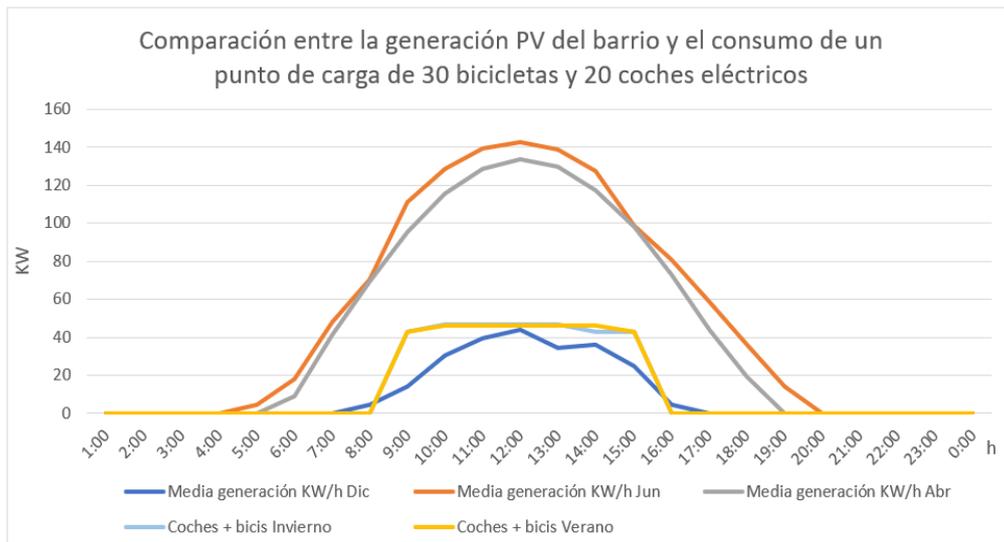
Además, esta estación de recarga de bicicletas eléctricas podría ser la primera de una red de bicicletas eléctricas públicas en Lasarte. Podría llevarse a cabo un acuerdo con el ayuntamiento de Lasarte y generar una red de estaciones eléctricas con bicicletas públicas que unan la ciudad.

## 9.2. ALTERNATIVA 2: COMUNIDAD ENERGÉTICA PARA EL AUTOCONSUMO EN VIVIENDAS Y OTROS USOS COMUNITARIOS

En el apartado anterior se han estudiado diferentes usos para la energía generada por medio de la instalación fotovoltaica en el barrio Basaundi. Sin embargo, en la mayoría de los casos, durante los meses de verano se dispone de un excedente de energía, aun habiendo abastecido ya un consumo. Como se ha explicado anteriormente, esta energía sobrante puede ser vendida a la red, para obtener un beneficio económico. Aun así, en este apartado, se analizarán diferentes combinaciones de consumos para el aprovechamiento máximo de la generación fotovoltaica generada.

### 9.2.1. Abastecimiento de estación de carga de vehículos eléctricos:

Creación de una red fotovoltaica en los edificios del barrio, utilizada para abastecer una estación de carga de 20 coches y 30 bicicletas eléctricas. Al sumar los consumos de cada vehículo eléctrico, y compararlo con la generación eléctrica se consigue la siguiente gráfica:



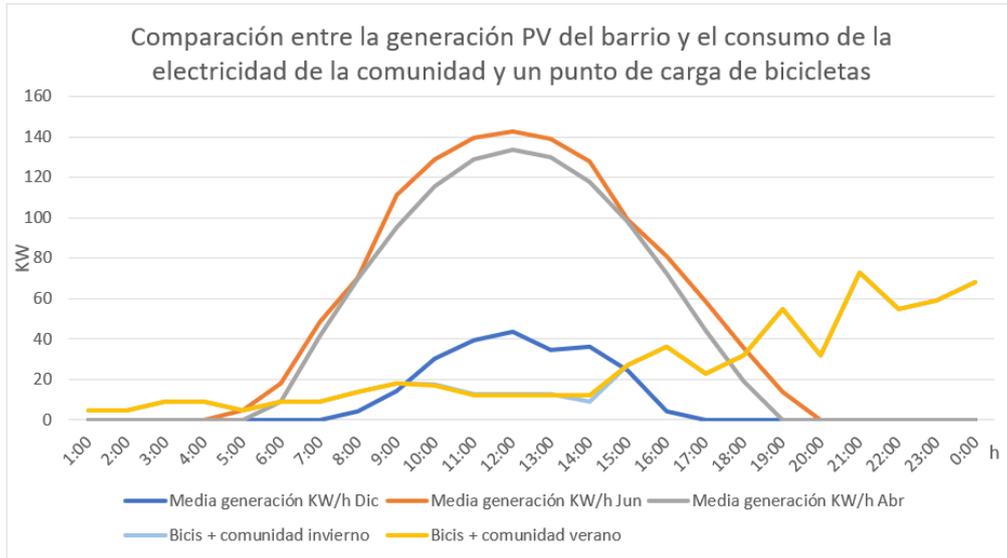
**58. Imagen: Comparación entre la generación fotovoltaica y el consumo de una estación de vehículos eléctricos en Basaundi. Fuente: Elaboración propia.**

En consumo de las bicicletas es tan bajo que los resultados son bastante similares a los del consumo de los coches eléctricos. Además, el consumo entre verano e invierno no varía demasiado. Como se ha explicado anteriormente, en verano se consigue abastecer el consumo al completo y en invierno se hace en gran parte. Pero se debe tener en cuenta que estos consumos tienen la ventaja de ser variables y que, en caso de necesitar energía para alguna carga, podría realizarse durante la noche aprovechando los precios más económicos de la electricidad.

Aun así, como pasa en el caso de los coches eléctricos, durante el verano se cuenta con una generación de energía bastante alta, y esta situación es idónea para realizar alguna combinación con otros consumos para aprovechar esa energía al máximo.

### 9.2.2. **Abastecimiento del consumo de la comunidad y de una estación de bicicletas eléctricas:**

Creación de una red fotovoltaica en los edificios del barrio, utilizada para abastecer una estación de carga de 30 bicicletas eléctricas y la energía consumida en la comunidad vecinal del barrio. La suma de los consumos en comparación con las curvas de generación fotovoltaica en las cubiertas del barrio se representa de la siguiente manera:

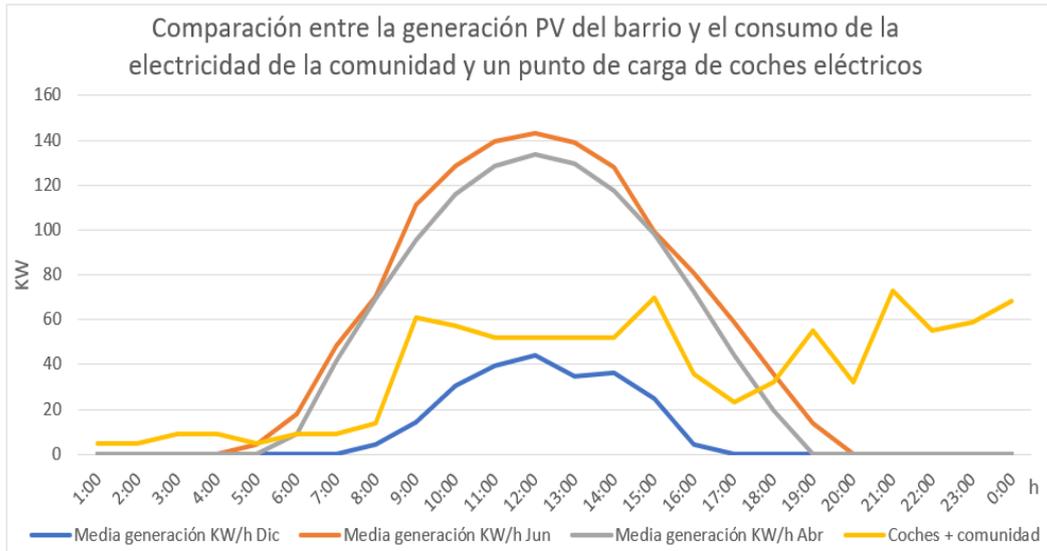


**59. Imagen: Comparación entre la generación fotovoltaica y el consumo eléctrico de la comunidad y una estación de bicicletas eléctricas en Basaundi. Fuente: Elaboración propia.**

En este caso, la suma del consumo de las bicicletas eléctricas y la electricidad de la comunidad es bastante baja y puede abastecerse al completo durante cierto periodo de tiempo; en verano, de 5 de la mañana a 18 de la tarde, y en invierno, de 9 a 15. El resto de las horas se abastecerán por medio de la energía de la red eléctrica, aportando lo que sea posible desde la instalación fotovoltaica del barrio.

### 9.2.3. **Abastecimiento del consumo de la comunidad y una estación de 20 coches eléctricos:**

Creación de una red fotovoltaica en los edificios del barrio, utilizada para abastecer una estación de carga de 20 coches eléctricos y la energía consumida en la comunidad vecinal del barrio. La suma de los consumos en comparación con las curvas de generación fotovoltaica en las cubiertas del barrio se presenta en la siguiente ilustración:

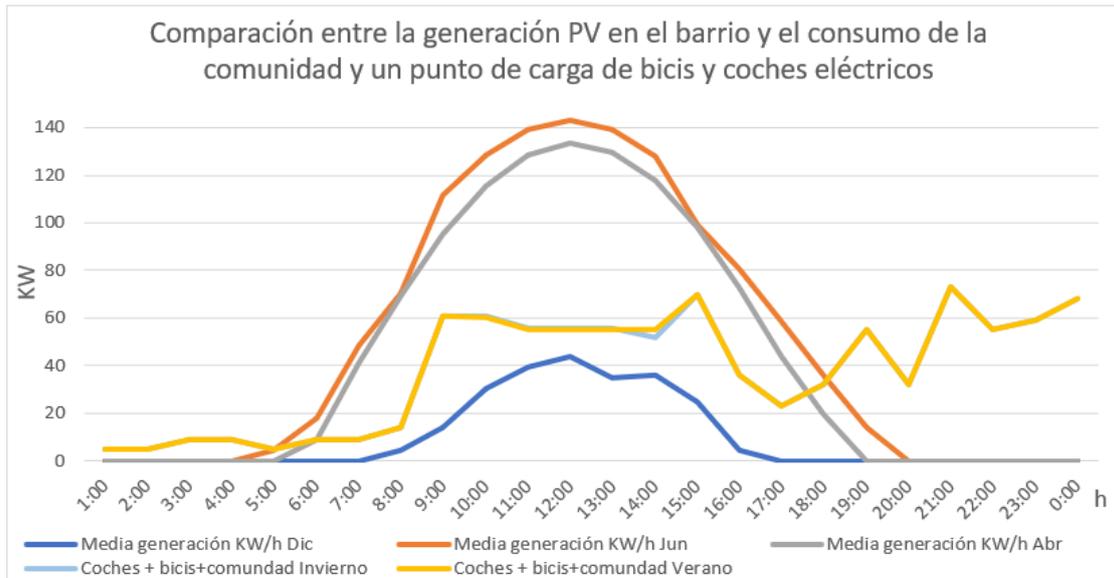


**60. Imagen: Comparación entre la generación fotovoltaica y el consumo eléctrico de la comunidad y una estación de coches eléctricos en Basaundi. Fuente: Elaboración propia.**

Como se percibe en la imagen, durante los meses de verano, la energía generada mediante la instalación fotovoltaica sería suficiente como para abastecer este gasto durante el día. Sin embargo, durante los meses de invierno, solo se podría abastecer una pequeña parte. Aun así, se debe tener en cuenta que el consumo de los coches es variable, y que, de no haber excedentes en la energía generada durante el día, podría darse por la noche, aprovechando sus tarifas más económicas.

#### **9.2.4. Abastecimiento del consumo de la comunidad y una estación de vehículos eléctricos:**

Creación de una red fotovoltaica en los edificios del barrio, utilizada para abastecer una estación de carga de 20 coches y 30 bicicletas eléctricas y la energía consumida en la comunidad vecinal del barrio. La suma de los consumos en comparación con las curvas de generación fotovoltaica en las cubiertas del barrio se presenta en la siguiente ilustración:



**61. Imagen: Comparación entre la generación fotovoltaica y el consumo eléctrico de la comunidad y una estación de vehículos eléctricos en Basaundi. Fuente: Elaboración propia.**

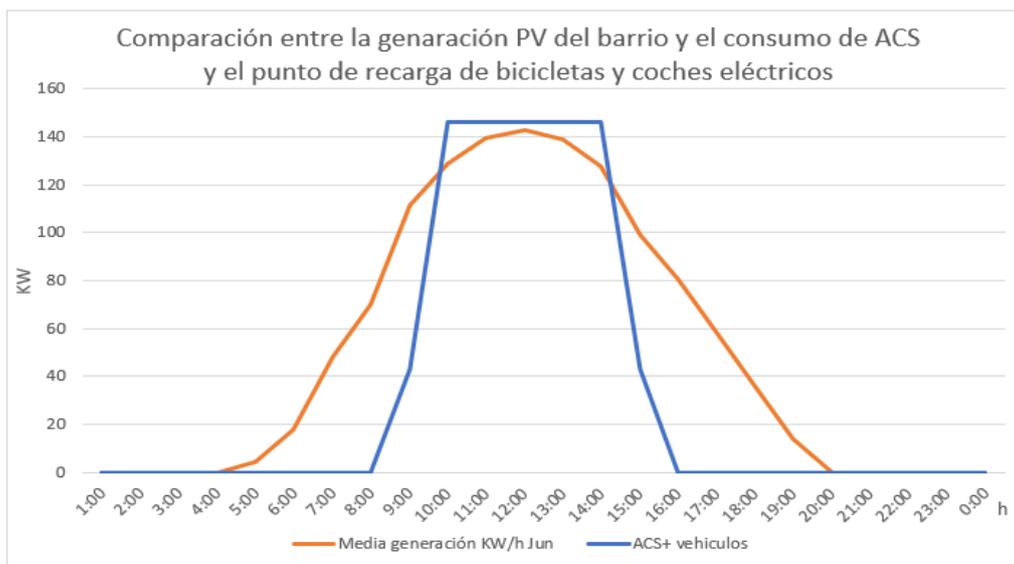
En este caso, como el consumo de la carga de bicicletas eléctricas es bastante bajo ocurre algo similar al apartado anterior. Esto es, en verano se dispone de energía suficiente como para abastecer este consumo, y se podría aprovechar para abastecer otros consumos que se vean necesarios. En cambio, en invierno, solo se podrá abastecer una parte del consumo, y no se podría abastecer más consumos. Aun así, como se ha mencionado anteriormente, estos consumos son variables, y pueden ser realizados durante la noche si la energía fotovoltaica no es suficiente para cubrir la carga.

### 9.2.5. Abastecimiento del consumo de ACS y una estación de vehículos eléctricos:

Creación de una red fotovoltaica en los edificios del barrio, utilizada para abastecer el consumo de agua caliente sanitaria de los habitantes del barrio y una estación de carga de tanto coches (20) como bicicletas eléctricas (30).

Como se ha analizado en el apartado anterior, el consumo de ACS del barrio solo puede abastecerse al completo durante los meses de verano, pues en invierno la energía generada es la mitad del consumo de ACS. Aun así, en verano, se dispone de energía generada sobrante que puede aprovecharse para abastecer otros consumos, como una estación de carga de vehículos eléctricos.

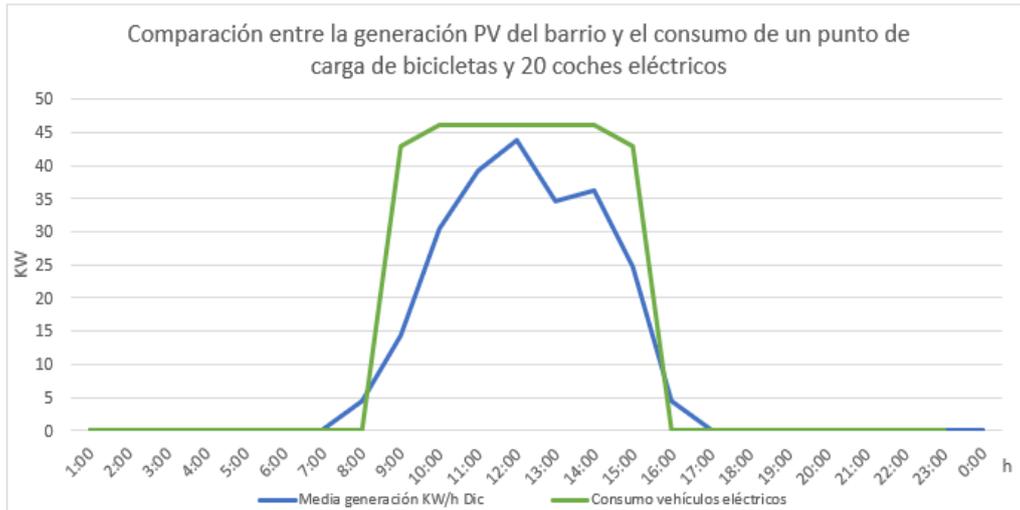
De este modo, en verano se aprovecharía el 100% de la generación fotovoltaica, usándola para obtener agua caliente y vehículos eléctricos "gratis".



**62. Imagen: Comparación entre la generación fotovoltaica en verano y el consumo de ACS de las viviendas y una estación de vehículos eléctricos en Basaundi. Fuente: Elaboración propia.**

Durante las horas del mediodía, la energía generada servirá para hacer funcionar unas bombas de calor que calienten el agua del barrio, que después, se enviará a unos acumuladores de agua, donde permanecerán a altas temperaturas hasta el momento en el que los residentes necesiten el agua. El excedente de energía servirá para cargar los coches y bicicletas eléctricas que necesiten ser cargados. Aun así, como ya se ha comentado, la carga de vehículos eléctricos depende de diferentes factores, puesto que su hora de carga no siempre será la misma. Esto es, en caso de que ciertos vehículos no hayan podido ser cargados durante las horas de generación, o no se disponga de energía suficiente para hacerlo, será mejor dejar la carga para la noche, cuando las facturas son más económicas.

Sin embargo, en invierno no podría abastecerse todo ese consumo. Por lo tanto, se plantea abastecer con la generación energética de la instalación fotovoltaica cubrir el consumo del punto de carga de los vehículos eléctricos.

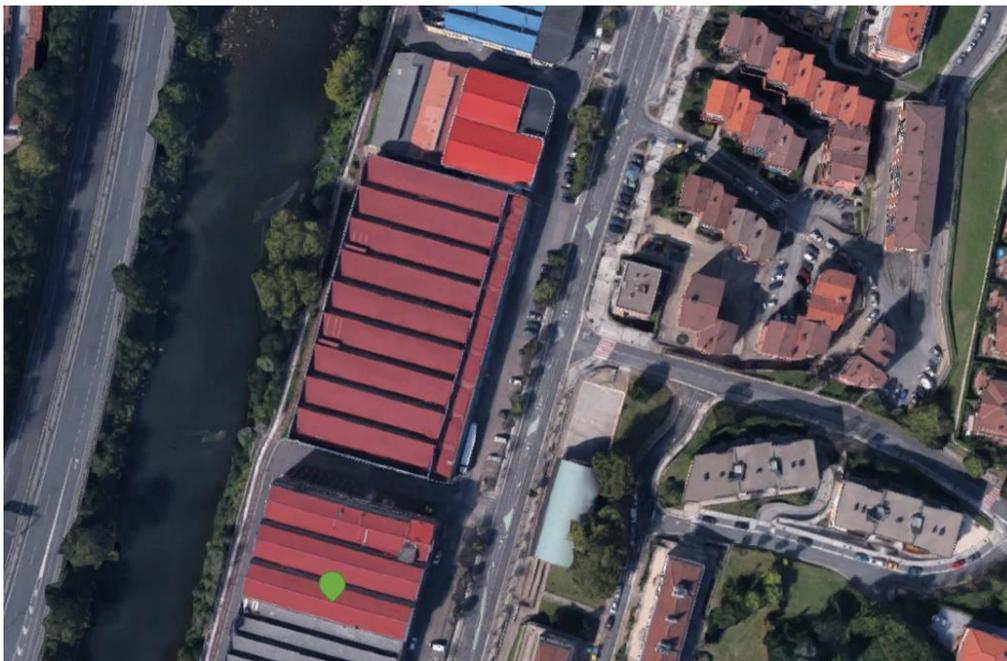


**63. Imagen: Comparación entre la generación fotovoltaica en invierno y el consumo de una estación de vehículos eléctricos en Basaundi. Fuente: Elaboración propia.**

Como puede verse, con la generación eléctrica de invierno no se puede llegar a abastecer el consumo de la estación al completo, habría que aprovechar cuando haya excedentes para realizar las cargas, o realizarlas durante la noche si la generación no ha sido suficiente para recargar todos los vehículos que lo necesitan. También, aprovechando las tarifas nocturnas, se abastece durante la noche el consumo necesario para calentar el agua caliente sanitaria del barrio. De todos modos, esta opción sigue permitiendo un ahorro económico en el consumo de ACS y el uso de vehículos eléctricos.

### 9.3. ALTERNATIVA 3: COMUNIDAD ENERGÉTICA PARA EL AUTOCONSUMO EN VIVIENDAS Y EMPRESAS LOCALES

Esta última solución pretende crear una red fotovoltaica conjunta con una industria para abastecer los consumos del barrio y de la industria en tiempo real. En este caso, se trataría con una de las industrias que hay en Lasarte, enfrente del barrio Basaundi, como Jeci S.L. o Setalde para crear una comunidad energética conjunta.



**64. Imagen: Ubicación de la empresa Setalde en Lasarte. Fuente: Elaboración propia adaptado de Google Earth.**

El área de la cubierta del edificio de la empresa Setalde es alrededor de 740 m<sup>2</sup>, lo cual puede soportar una cantidad cerca de 90 paneles fotovoltaicos en su cubierta. Se han realizado diferentes cálculos con la cubierta de Setalde, que se encuentran en el Excel. A continuación, se presentan algunos de los datos que se han conseguido:

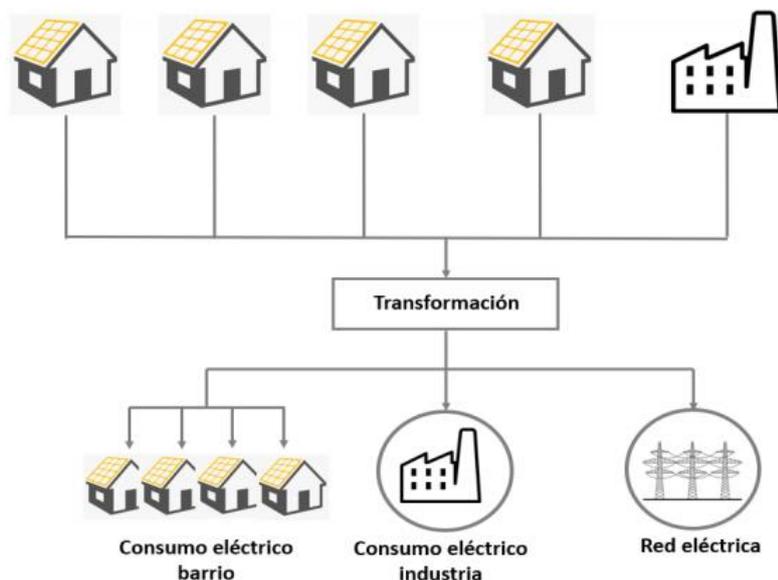
Orientación	Generación típica horaria (W/m <sup>2</sup> )	Generación típica hora por m <sup>2</sup> (W/h·m <sup>2</sup> )
Sur (15°)	1189	8

**8. Tabla: Generación eléctrica por la instalación fotovoltaica en la cubierta de Setalde**

Se ha seguido el mismo procedimiento que con las cubiertas y fachadas del barrio para estudiar la eficiencia de la cubierta en función de su generación eléctrica. Como puede verse por los datos en color verde, la cubierta de Setalde da muy buenos resultados, seguramente por su buena orientación hacia el sur.

Esta propuesta tiene una principal ventaja, el horario de uso de la energía. Esto es, generalmente, en las viviendas, el consumo máximo de la energía suele darse durante la mañana (Antes de empezar la jornada laboral) y a la tarde-noche, a la vuelta del trabajo o responsabilidades. Durante el día la energía que se consume en las viviendas es mínima, y habría un excedente de energía generada por medio de los paneles fotovoltaicos que habría que verter a la red. Sin embargo, la energía que se consume en las industrias tiene el horario contrario, consume una gran cantidad de energía durante los periodos laborales. De este modo, la energía generada durante el día no se llegaría a verter en la red, sino que se utilizaría mayormente en los funcionamientos de la industria. Por otro lado, es necesario tener en cuenta que la mayor cantidad de producción de energía fotovoltaica ocurrirá durante el día, coincidiendo, más o menos, con el horario de trabajo de la industria. Esta solución trata de aprovechar al máximo la energía generada por las instalaciones

fotovoltaicas, vertiendo un mínimo excedente a la red general. Su esquema general sería el siguiente:

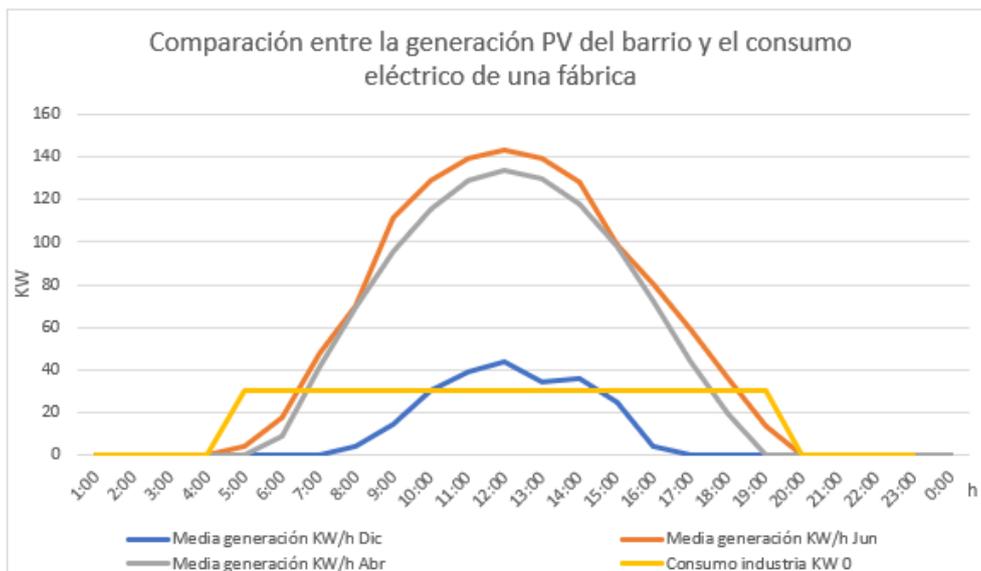


**65. Imagen: Esquema del funcionamiento de la comunidad energética conjunta con una empresa. Fuente: Elaboración propia.**

Se han analizado dos soluciones diferentes para la creación de esta comunidad energética conjunta:

### **9.3.1. Instalación fotovoltaica en las cubiertas del barrio:**

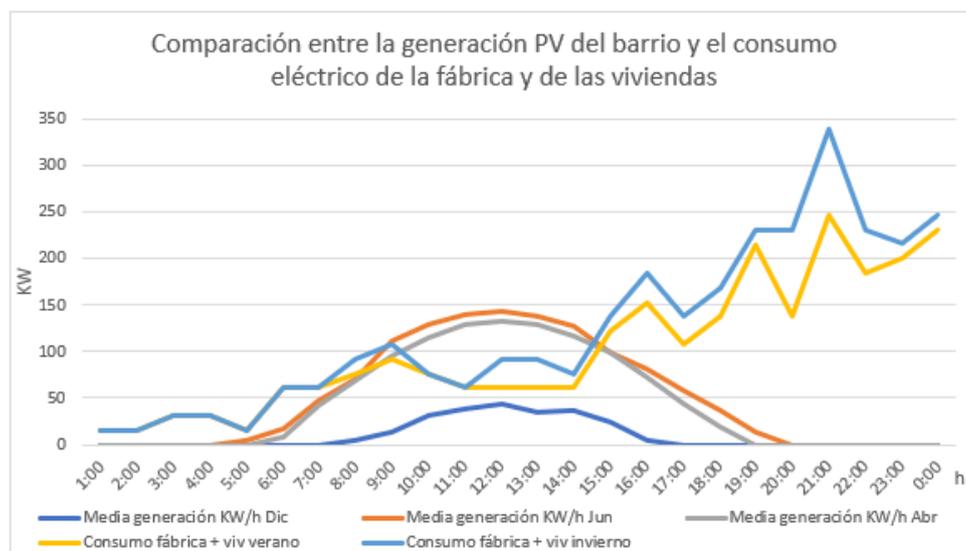
Esta opción trata de abastecer el consumo de una empresa, por medio de una única instalación fotovoltaica en las cubiertas anteriormente seleccionadas del barrio Basaundi bailara. Se tomará que el consumo medio de una empresa del tamaño de Setalde ronda los 30KW/h, y que su horario ronda de 6 de la mañana a 20 de la tarde. La comparación entre la generación fotovoltaica del barrio Basaundi y el consumo eléctrico de la empresa es la siguiente:



**66. Imagen: Comparación entre la generación fotovoltaica de Basaundi y el consumo eléctrico de la empresa. Fuente: Elaboración propia.**

Como puede comprobarse, durante el invierno, solo se abastecerá el consumo al completo de 10 a 15. De 8 a 17 de la tarde se abastecerá una pequeña parte, y durante el resto del día habrá que conseguir la energía de la red eléctrica. En cambio, el consumo de la empresa puede abastecerse al completo durante los días de verano y, además, hay suficiente energía sobrante como para utilizarla para saciar otros consumos.

Por otro lado, se ha estudiado la comparación entre la generación fotovoltaica y la suma del consumo eléctrico de la empresa y del consumo eléctrico de las viviendas:

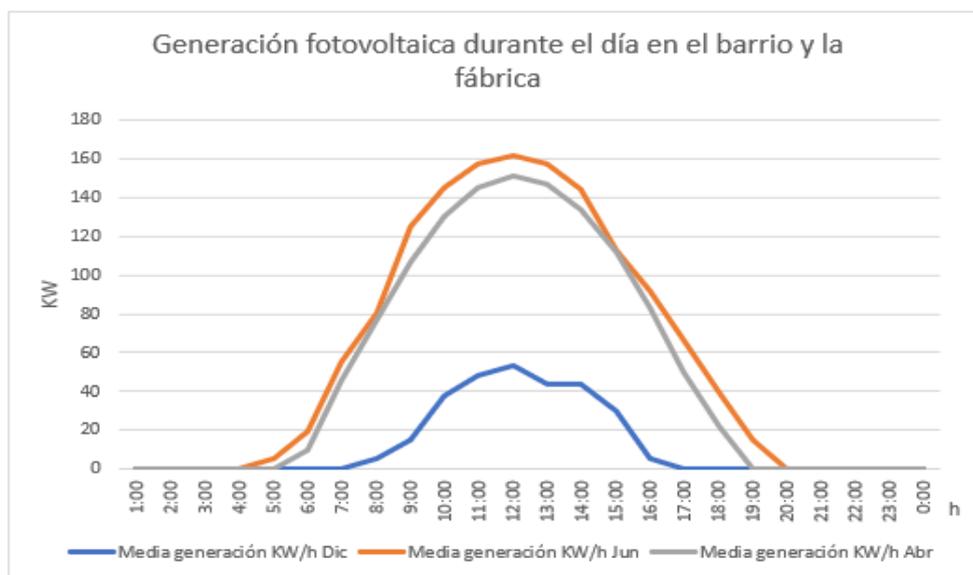


**67. Imagen: Comparación entre la generación fotovoltaica de Basaundi y el consumo eléctrico de la empresa Setalde y las viviendas del barrio. Fuente: Elaboración propia.**

En este caso, en verano se consigue abastecer el consumo eléctrico de la empresa y las viviendas desde las 8 de la mañana a 15 de la tarde. Durante los meses de invierno, en cambio, la generación no llega a ser suficiente como para abastecer el consumo al completo en ningún momento del día, aunque de 8 a 16 se podría abastecer una parte de ello. Además, como ocurría en los casos anteriores, el uso de la electricidad en el barrio aumenta durante las últimas horas del día, cuando ya no se dispone de radiación solar, por lo que la mayoría del consumo no se podría surtir. En conclusión, esta no es una opción viable, dado que no se dispone de suficiente generación eléctrica como para suministrar ambos consumos. Además, el consumo de la empresa solo ya es demasiado para la generación eléctrica que se consigue en los meses de invierno.

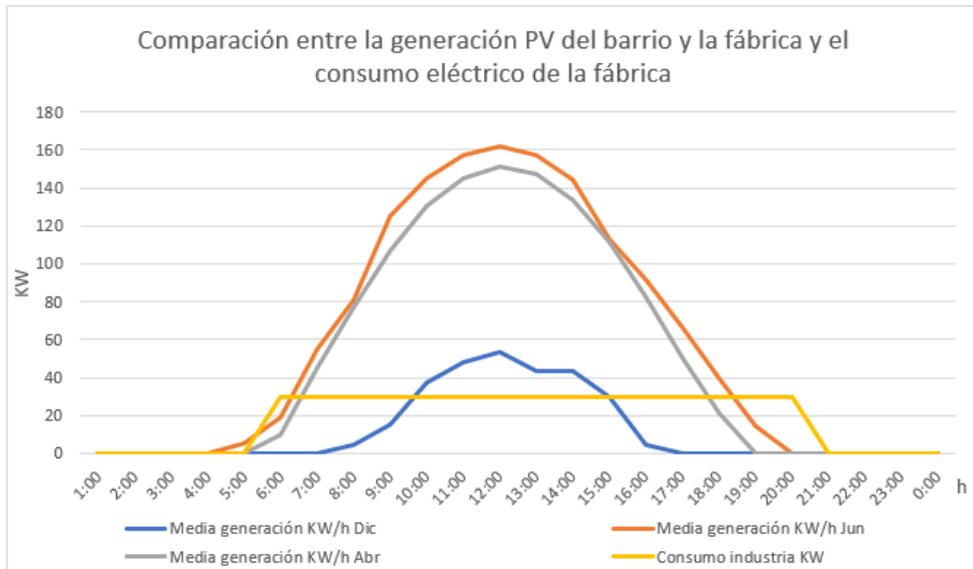
### 9.3.2. **Instalación fotovoltaica en las cubiertas del barrio y empresa:**

Esta segunda opción, en cambio, cuenta con dos instalaciones fotovoltaicas, una en las cubiertas del barrio Basaundi, y la otra en la cubierta de la empresa. La cubierta de la empresa Setalde cuenta con una cubierta de alrededor de 750 metros cuadrados, lo cual, junto con la instalación fotovoltaica de las cubiertas de Basaundi, se consigue la siguiente generación fotovoltaica:



68. Imagen: Generación fotovoltaica en las cubiertas de Basaundi y la empresa Setalde.  
Fuente: Elaboración propia.

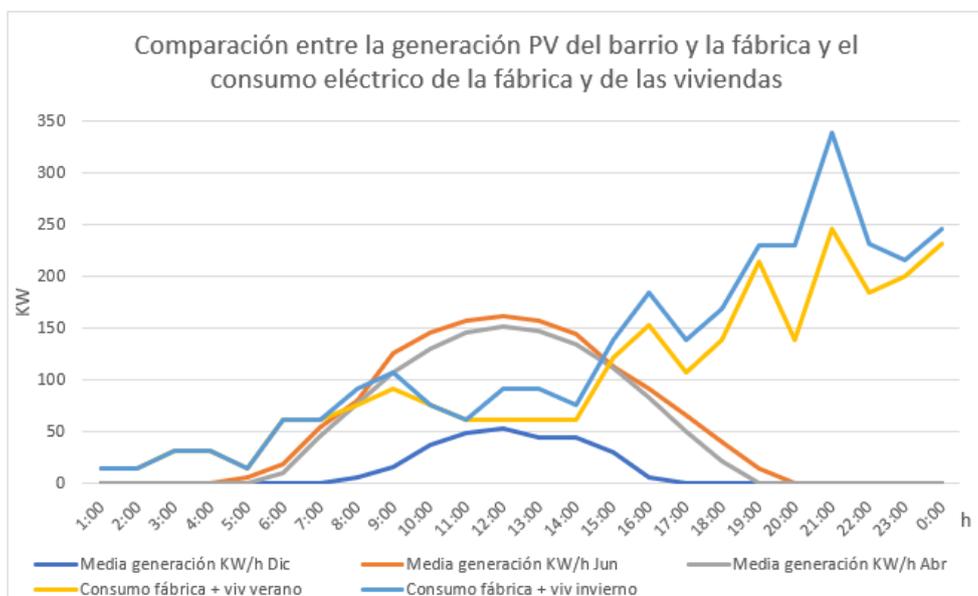
La curva de generación varía al sumar la instalación en la cubierta de la empresa Setalde, y la generación máxima aumenta en unos 20KW. A continuación, se estudiarán los mismos casos que en el apartado anterior, esta vez con esta nueva generación. La curva comparativa entre la generación y el consumo de la empresa es la siguiente:



**69. Imagen: Comparación entre la generación fotovoltaica de Basaundi y la empresa y el consumo eléctrico de la empresa. Fuente: Elaboración propia.**

Como en el caso anterior, en verano se dispone de suficiente energía como para abastecer este consumo casi al máximo. En invierno, la situación también es parecida. Solo puede saciarse parte de ese consumo durante las horas de generación, aunque de 10 a 15 es capaz de abastecerlo al completo. Aun así, durante el resto de las horas del día se necesitaría utilizar energía de la red eléctrica.

La comparación entre la suma de la generación fotovoltaica en las cubiertas del barrio y de la cubierta de la empresa Setalde y el consumo eléctrico de las viviendas del barrio y de la empresa es la siguiente:



**70. Imagen: Comparación entre la generación fotovoltaica de Basaundi y la empresa y su consumo eléctrico. Fuente: Elaboración propia.**

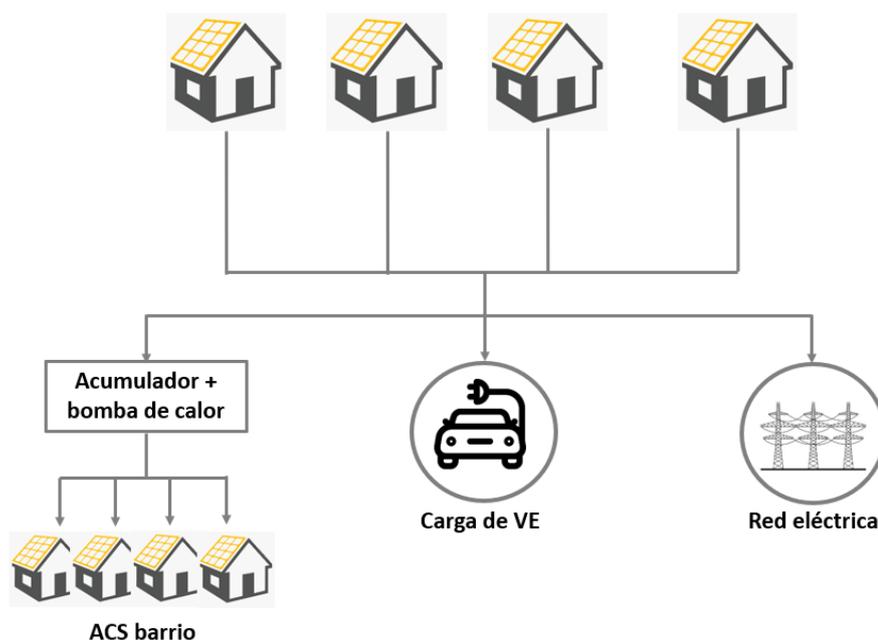
Como la generación fotovoltaica de la empresa es escasa, el resultado es muy similar al anterior. Se tiene el mismo problema en invierno, pues la generación total de las dos instalaciones no llega a ser suficiente para abastecer al completo el consumo eléctrico de las viviendas y la empresa en ningún momento del día. En verano, se podría abastecer el consumo al completo de 8 a 15, pero durante el resto de horas, haría falta energía de la red. Además, como ya se ha mencionado, el consumo aumenta durante las horas de la tarde y noche, cuando no se tiene radiación solar y no se puede saciar ese consumo por medio de energía fotovoltaica.

En conclusión, podría decirse que la creación de una comunidad energética con una industria no es eficiente, pues el consumo de la empresa es significativamente mayor, pero la generación no lo es en proporción. Este caso podría servir en proyectos en los que se cuente con una empresa de menor consumo y mayor área de cubierta disponible para la instalación de tecnologías fotovoltaicas.

#### 9.4. ALTERNATIVA ÓPTIMA PARA EL BARRIO DE BASAUNDI

Analizando las diferentes opciones propuestas en el apartado anterior, se ha decidido que la opción recomendable para este proyecto es el uso de la energía fotovoltaica para el abastecimiento del consumo de ACS de los habitantes del barrio y para la carga de 20 automóviles y 30 bicicletas eléctricas. Estas últimas pueden ser de uso privado, o podrían formar parte de una red de estaciones de carga de vehículos eléctricos de uso público por Lasarte y la zona, gestionada por el ayuntamiento, lo cual no solo favorecería a los habitantes de Basaundi Bailara, sino al pueblo de Lasarte entero, tanto económicamente como en modo de ejemplo a seguir.

El uso de la energía que se propone podría simplificarse con el siguiente esquema:



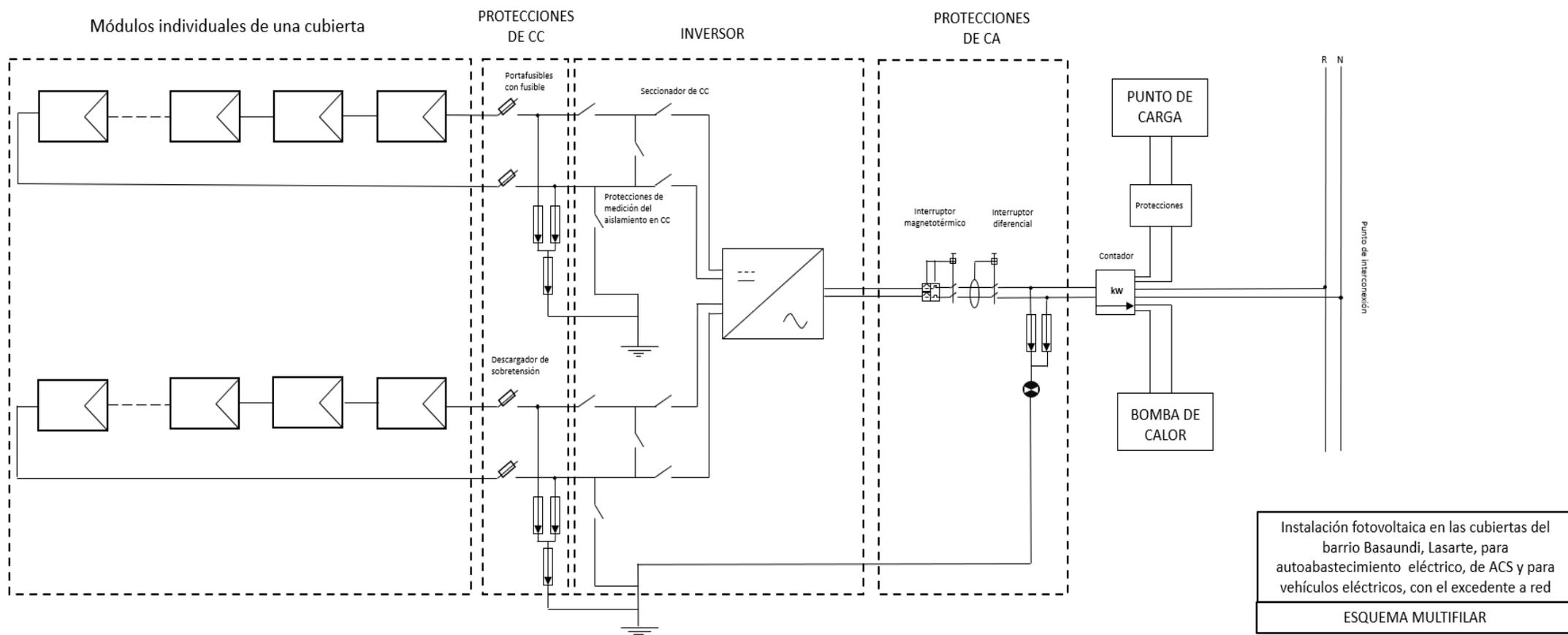
**71. Imagen: Esquema del funcionamiento de la comunidad energética. Fuente: Elaboración propia.**

En conclusión, la generación eléctrica creada por la instalación fotovoltaica en verano sería suficiente como para abastecer al completo los consumos del agua caliente sanitaria y del punto de carga de vehículos eléctricos, y se dispondría de energía sobrante, que puede venderse a la red eléctrica y obtener un beneficio económico por ella.

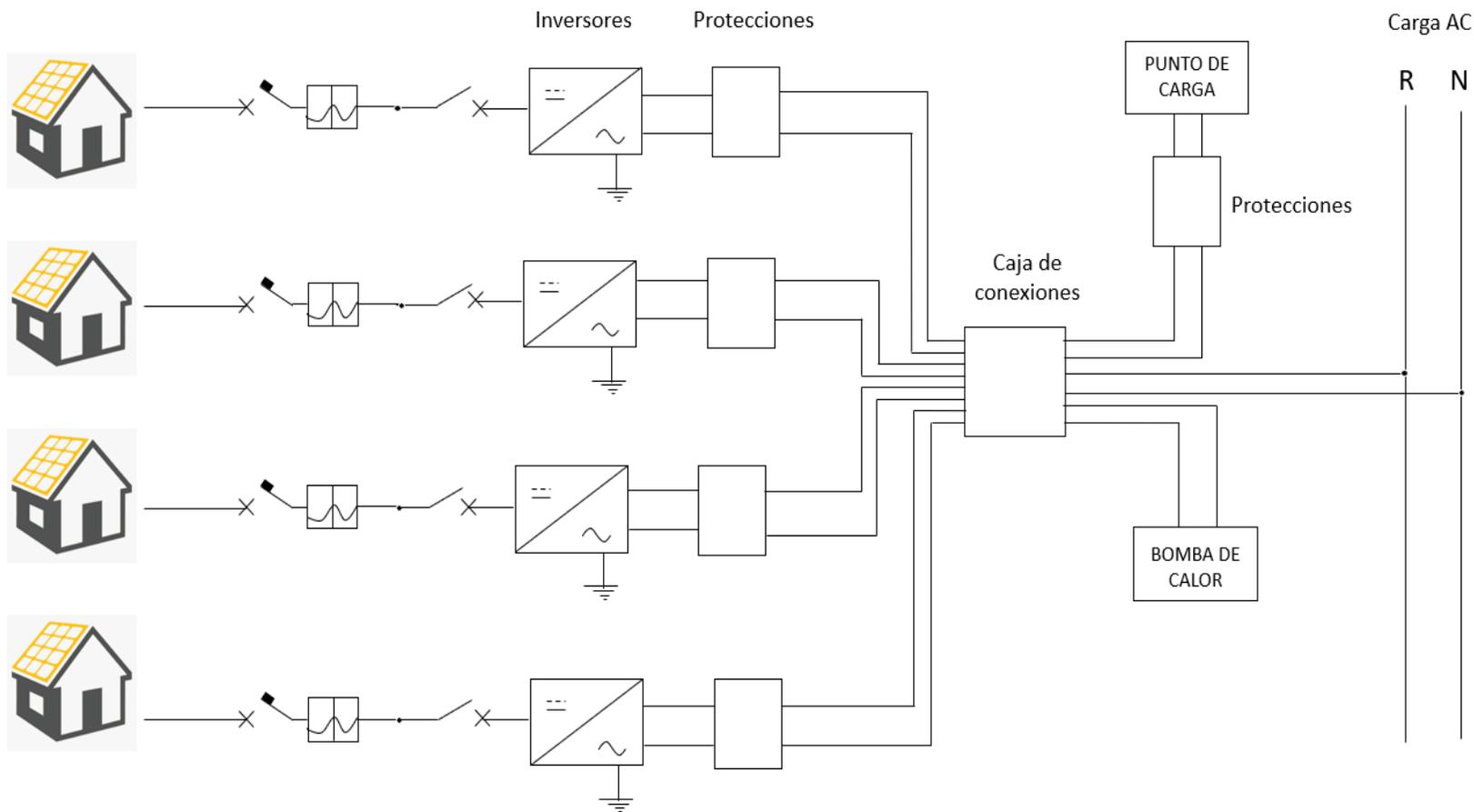
En cambio, durante los meses de invierno, con la energía generada se propone cubrir en gran parte el consumo de carga de vehículos eléctricos. El consumo de ACS y los consumos del punto de carga que no se hubieran podido cubrir durante el día con la energía fotovoltaica se abastecerían durante la noche, aprovechando las facturas nocturnas que son más económicas. El aprovechamiento de las horas nocturnas para el calentamiento del agua caliente sanitaria es una estrategia comúnmente usada hoy en día, por su simpleza y su éxito.

La tecnología necesaria para el calentamiento de ACS, esto es, los tres acumuladores y las 4 bombas de calor, se podrían colocar en unos sótanos vacíos que se encuentran en algunos edificios del barrio, que por ahora no tienen ningún uso.

A continuación, se presentan dos esquemas más técnicos de la opción que se está proponiendo. Primero, se muestra un esquema multifilar, esto es, el esquema técnico de la instalación fotovoltaica, en el que se representan los paneles fotovoltaicos, inversores, sus protecciones necesarias y el acabado final de la instalación. Después, aparece un esquema unifilar que simplifica el primero, pero sigue mostrando los aspectos técnicos de la instalación.



72. Imagen: Esquema multifilar del resultado final. Fuente: Elaboración propia.



Instalación fotovoltaica en las cubiertas del barrio Basaundi, Lasarte, para autoabastecimiento eléctrico y de ACS y el excedente a red  
**ESQUEMA UNIFILAR**

73. Imagen: Esquema unifilar del resultado final. Fuente: Elaboración propia.

Esta opción, aporta un ahorro económico, dado que se presenta una estación de vehículos eléctricos cargada por la instalación fotovoltaica de autoconsumo, esto es, no se necesita comprar energía a la red eléctrica para abastecer este uso. Además, el agua caliente sanitaria se puede conseguir “gratis” durante la mayor parte del año, y, aun así, en invierno sigue consiguiéndose un ahorro al calentar el agua durante horas valle de la noche en los que la energía baja de precio.

Por otro lado, este proyecto presenta también un beneficio social, sobre todo si la estación de carga de vehículos eléctricos acaba siendo utilizada para la recarga de automóviles de uso público. Además, no se encuentran proyectos similares por la zona, esto es, se trata de un trabajo innovador, que puede servir como ejemplo para otros barrios que quieran formar una comunidad energética de autoconsumo y quieran comprender cuales son las diferentes opciones de las que disponen para su implantación y uso posterior de la energía.

Sin embargo, para poder realizar estas operaciones será necesario un algoritmo de control energético, que en base a la cantidad de energía generada de la que se disponga durante el día, decida para qué utilizar esa energía. Esto es, este algoritmo detectaría si existen excedentes de electricidad y enviaría ese excedente para la carga de los consumos que lo necesiten; y en caso de no disponer de la suficiente energía, decidiría qué instalaciones cargar durante las horas nocturnas. El objetivo de este algoritmo constaría en la gestión eficiente de la energía generada, aprovechando la energía generada en un 100% y creando un ahorro económico beneficioso. Este tema se profundizará más adelante.

## 10. CONCLUSIONES

Como se ha podido estudiar durante los apartados anteriores, este proyecto ha sido exitoso, pues aporta beneficios al conocimiento e innovación en este ámbito al barrio Basaundi Bailara.

Se puede decir que esta instalación ha dado buenos resultados, con más de una opción para el uso de la energía que se genere. Se ha conseguido la ubicación óptima de la instalación para conseguir la mayor cantidad de energía de una manera eficiente y minorizando los gastos, y se ha comprobado que esta energía es suficiente como para abastecer más de un consumo al mismo tiempo.

También se ha estudiado las consecuencias medioambientales de la creación de estas instalaciones y comunidades y los resultados de este proyecto han sido beneficiosos en este ámbito. Al crear una instalación fotovoltaica para el autoconsumo, se utiliza la energía generada en esta instalación de energía renovables, en vez de comprar energía de la red eléctrica que, en un porcentaje puede ser renovable, pero la mayor parte viene de fuentes fósiles. Esto genera una disminución del uso de energía de origen fósil, reduciendo al mismo tiempo la contaminación y en las emisiones de gases de efecto invernadero que se desatan al quemar esta energía. Se ha demostrado el potencial de estos sistemas en la situación de emergencia climática y de recursos que existe actualmente.

En cuanto a los beneficios generales de este trabajo, sobresale el conocimiento que aporta sobre un tema específico que es nuevo e incipiente, en este caso el tema de las comunidades energéticas autoabastecidas por energías renovables. En este trabajo se estudia la creación de una comunidad energética con una instalación fotovoltaica, su planteamiento y el análisis de diferentes alternativas para el uso de la energía generada por medio de la instalación de energía renovable.

Por otro lado, los beneficios más específicos que aporta este proyecto son varios: Uno de los beneficios que puede atraer más a los habitantes del barrio, es el beneficio económico. Al crear una estación fotovoltaica para autoconsumo, aunque la primera inversión pueda resultar alta, se consigue un ahorro económico abundante durante los siguientes años en el consumo eléctrico, en este caso, en el consumo de agua caliente sanitaria y carga de vehículos eléctricos. Además, la energía que se genere que no pueda utilizarse, se vende a la red, proporcionando a la comunidad ganancias económicas.

Además, aporta un bien social. Este proyecto pretende, por un lado, regenerar los edificios y calles del barrio. Por ahora ya se han creado zonas peatonales y un parque, lo cual ha creado una sensación de unión y seguridad, y ha convertido esa zona en un lugar más agradable para pasar el tiempo y reactivar las relaciones sociales. Por otro lado, la creación de una comunidad energética puede generar una unión, en este caso psíquico, entre los vecinos y vecinas del barrio, ya que compartirían cierta energía. Como se ha mencionado anteriormente, este trabajo propone la opción de convertir la estación de carga en una estación pública. Esto aportaría, no solo beneficios económicos, pero también sociales, dado a la cantidad de conductores que podrían visitar el barrio por la necesidad de la carga del vehículo. Esto también

supondría un beneficio para los trabajadores de las empresas de alrededor del barrio que dispongan de vehículos eléctricos privados, ya que durante sus horas de trabajo podrían recargar su vehículo en el punto de carga del barrio a cambio de una compensación económica.

Por último, este proyecto genera una aportación importante en cuanto a la función de servir como modelo a seguir. Esta es, por ahora, una de las primeras comunidades energéticas que se crea en la zona, y de las que se utiliza para algo más que abastecer una parte del consumo eléctrico de la comunidad. Por lo tanto, puede servir como ejemplo para otros barrios que quieran formar una comunidad energética de autoconsumo y quieran comprender cuales son las diferentes opciones de las que disponen para su implantación y uso posterior de la energía.

Sin embargo, es necesario mencionar que los resultados destacados en el apartado anterior son una propuesta que se da en este trabajo, que tiene como objetivo la función de informar. Pero al llevar a cabo el proyecto real, los habitantes del barrio Basaundi podrán discutir y elegir con toda la libertad la propuesta de uso de la energía que sea más conveniente para ellos y que encaje mejor con sus prioridades.

Por último, se quiere destacar que este trabajo constituye una buena base para que se pueda realizar un posterior estudio en mayor profundidad y diseñar al detalle la propuesta para su aplicación real.

Este estudio puede también sentar las bases para realizar una investigación futura que analice y diseñe un algoritmo de gestión energética que sirva para la instalación de este caso de estudio. El fin de esta continuación sería que esta instalación funcione de una manera eficiente e inteligente, dirigiendo la energía generada a los consumos que la necesiten, y en caso de no disponer de suficiente energía (como ocurriría los meses con menos luz solar), gestionarla de manera eficiente y decidir qué consumo es preferible cargar durante la noche, con el fin de conseguir el máximo ahorro energético y económico.

## 11. FUTURAS INVESTIGACIONES

Durante la primera fase de este proyecto se decidió tratar el tema de los algoritmos para la gestión óptima de las microrredes. El objetivo de este proyecto era el diseño de un algoritmo en Matlab que determinara la configuración óptima de una microrred para el abastecimiento energético de un edificio o zona residencial, con el fin de conseguir una gestión óptima de la energía generada en autoconsumo y, de este modo, mejorar su eficiencia energética y conseguir un ahorro económico.

No obstante, se llegó a la conclusión de que, para poder crear un algoritmo de esas características, se necesitaría concretar el espacio en el que se encuentra la microrred que se quiere gestionar. Por lo tanto, este trabajo ha tratado sobre el estudio de alternativas para el diseño y dimensionamiento de una instalación fotovoltaica para el caso de estudio, en este caso, el barrio Basaundi Bailara de Lasarte.

En este apartado se proponen trabajos futuros que se basen en este. Primero, se propone un estudio futuro en el que se detalle las características de un algoritmo de gestión energética específico para su uso en la instalación fotovoltaica para autoconsumo de Basaundi.

A continuación, se propondrán los criterios o factores que se deberán tener en cuenta para poder llevar a cabo el algoritmo de gestión de la energía para este caso de estudio en concreto, así como las funciones que deberá cumplir.

Para empezar, se necesitaría disponer de diferentes controladores que sirvan para generar los valores de entrada para el algoritmo. Esto es, sería necesario tener controladores que calculen datos como el nivel de generación energética que se produce en la instalación fotovoltaica, el nivel de capacidad de las bombas de calor y baterías de coches eléctricos, el nivel de agua en los acumuladores de ACS, etc. Estos valores se integrarían como inputs para el inicio de funcionamiento del algoritmo.

Además, el algoritmo necesitaría contener una lista de prioridades para seguir al tener una carga de energía generada. Estas prioridades pueden ser ordenadas en base a diferentes funciones, como, por ejemplo:

- No dejar un consumo por la mitad, por ejemplo, no dejar una carga de vehículo eléctrico o un acumulador de agua caliente sin terminar.
- La cantidad de energía de un consumo que se necesitaría abastecer por la noche.
- El gasto económico que supondría abastecer cada energía durante las horas de la noche.

Por lo tanto, una vez el algoritmo reciba los datos de entrada, llevaría a cabo una serie de cálculos cuantitativos que le proporcionen ciertos datos como la cantidad de consumo que puede abastecerse con la energía generada de la que se dispone. Teniendo en cuenta las prioridades proporcionadas, el algoritmo debería ser capaz de distribuir la energía a los consumos que lo necesiten. En caso de haber abastecido al completo los consumos, el algoritmo debería redirigir la energía generada por la instalación fotovoltaica a la red eléctrica. Por último, en caso de descenso de la

generación energética fotovoltaica, el algoritmo debería racionar la energía que queda para acabar de abastecer algunos consumos, y dejar el abastecimiento de otros para las horas de la noche, siempre teniendo en cuenta las prioridades que se le proporcionan.

Asimismo, el algoritmo podría contener un sistema de horizonte largo, esto es, tener un conocimiento general sobre las curvas de generación y consumo de los días durante el año, para poder realizar predicciones y conseguir una gestión de la energía más exacta y eficiente.

El bucle general del programa se desempeña continuamente por cada periodo de regulación (cada 5 minutos, por ejemplo) durante 24 horas. En cada periodo, se analiza el estado actualizado de la microrred y la lista de prioridades y, con estos datos, se activaría la distribución de la energía al consumo que se ha decidido oportuno.

En general, este algoritmo proporciona a la instalación de autoconsumo con mayores ventajas. Por un lado, se asegura el control eficiente de la energía, proporcionando un ahorro energético y económico. Además, este algoritmo es un administrador de carga inteligente en tiempo real, que coordina diferentes actividades de carga mientras que, al mismo tiempo, se reduce el estrés de los sistemas, que puede impactar en la fiabilidad, seguridad y funcionamiento de la red.

Por último, también se propone un trabajo futuro en el que se estudie una estrategia de control para la estación de vehículos eléctricos, que mitigue los efectos negativos que provocan las fuentes de energía renovable y el punto de carga de vehículos eléctricos en la red eléctrica y su funcionamiento. Esto podría llevarse a cabo por medio del diseño de un algoritmo (lineal o no lineal) de control de la energía. Este sistema tiene como fin la regulación de la frecuencia y voltaje del sistema y la reducción de los recortes de potencia fotovoltaicos, consiguiendo una instalación más eficiente y un uso máximo de la energía fotovoltaica generada.

## 12. BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. G. V. Sampaio and M. O. A. González, "Photovoltaic solar energy: Conceptual framework," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 74, no. December 2016, pp. 590–601, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.02.081.
- [2] F. J. Esclapés Jover, "Adaptabilidad de la energía solar fotovoltaica sobre fachadas urbanas," 2012, [Online]. Available: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/44245>.
- [3] T. F. De Máster, "Máster Universitario en Ciencia y Tecnología de Materiales," 2013.
- [4] J. L. Oviedo-Salazar, M. H. Badii, A. Guillen, and O. Lugo Serrato, "History and Use of Renewable Energies," *Daena Int. J. Good Conscienc.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–18, 2015, [Online]. Available: [http://www.spentamexico.org/v10-n1/A1.10\(1\)1-18.pdf](http://www.spentamexico.org/v10-n1/A1.10(1)1-18.pdf).
- [5] S. F. Larsen, *EDIFICIOS BIOCLIMÁTICOS. Energía Solar*. 2016.
- [6] "La historia de la energía solar fotovoltaica | sitiosolar." <http://www.sitiosolar.com/la-historia-de-la-energia-solar-fotovoltaica/> (accessed Apr. 26, 2021).
- [7] J. I. A. Montes *et al.*, "Energía Solar Fotovoltaica."
- [8] J. M. Huidobro, "Parques solares. Una inversión muy rentable a Introducción," pp. 53–59, 2008, [Online]. Available: [https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias\\_y\\_tecnologia/047053.pdf](https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/047053.pdf).
- [9] "Componentes de una instalación solar fotovoltaica 1," 24AD.
- [10] M. V. Luis Carlos Gutierrez and J. G. Corbalán, "Energía a partir de módulos fotovoltaicos integrados en cubiertas," pp. 67–70, 2007.
- [11] D. G. für Sonnenenergie, "Planning and installing photovoltaic systems: a guide for installers, architects and engineers,," 2013.
- [12] J. Alvarado Ladron de Guevara, "Diseño y Cálculo de una instalación fotovoltaica aislada," p. 90, 2018, [Online]. Available: [http://oa.upm.es/52204/1/PFC\\_JORGE\\_ALVARADO\\_LADRON\\_DE\\_GUEVARA.pdf](http://oa.upm.es/52204/1/PFC_JORGE_ALVARADO_LADRON_DE_GUEVARA.pdf).
- [13] N. Calvo and P. Ledesma, "FOTOVOLTAICA DE 18MW EN LA," 2015.
- [14] "¿Qué es el Silicio Monocristalino?" <https://autosolar.es/blog/placas-fotovoltaicas/que-es-el-silicio-monocristalino> (accessed Jun. 20, 2021).
- [15] "Descubre todo sobre las placas fotovoltaicas 2021 | AutoSolar." <https://autosolar.es/blog/placas-fotovoltaicas> (accessed Apr. 26, 2021).
- [16] "Pannello solare policristallino | moduli fotovoltaici solare Energiasolare100.com." <https://www.energiasolare100.com/it/energia/pannelli-solari-fotovoltaici-prezzi/pannello-solare-policristallino> (accessed Jun. 20, 2021).
- [17] "Célula solar de película fina, descripción y tipos." <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/celula-fotovoltaica/celula-solar-de-pelicula-fina> (accessed Apr. 26, 2021).
- [18] "Panel-solar-pelicula-delgada - Dexen." <https://www.dexen.mx/celdas-solares/attachment/panel-solar-pelicula-delgada/> (accessed Jun. 20, 2021).

- [19] C. A. González, "Instalación fotovoltaica de 20kW conectada a red sobre tejado plano en edificio público Memoria," 2011.
- [20] M. Soshinskaya, W. H. J. Crijns-Graus, J. M. Guerrero, and J. C. Vasquez, "Microgrids: Experiences, barriers and success factors," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 40, pp. 659–672, 2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.07.198.
- [21] T. K. Philipp Lionel Molter, Moritz Mungenast, Matej Banozic, Oliver Enghardt, "next facades: COST ACTION TU1403 ADAPTIVE FACADES NETWORK MID-TERM CONFERENCE," pp. 1–27, 2015.
- [22] M. Ing, V. A. Gallipoliti, C. I. Ii, F. De Arquitectura, and U. Resistencia, "CONTEXT AND PHOTOVOLTAIC TECHNOLOGY INTERVENTION GUIDELINES IN BUILDINGS OF THE NEA REGION .," pp. 105–113.
- [23] N. Martín Chivelet, "Integración fotovoltaica en edificios," *Fundam. Dimens. y Apl. la energía Sol. fotovoltaica*, vol. 2, p. 18, 2004, [Online]. Available: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/extart?codigo=1103113>.
- [24] Z. Nagy *et al.*, "The Adaptive Solar Facade: From concept to prototypes," *Front. Archit. Res.*, vol. 5, no. 2, pp. 143–156, 2016, doi: 10.1016/j.foar.2016.03.002.
- [25] F. J. M. Vázquez, "Contribución a la mejora de la integración de la energía solar fotovoltaica en edificios," 2018.
- [26] M. A. Farrelly and S. Tawfik, "Engaging in disruption: A review of emerging microgrids in Victoria, Australia," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 117, no. December 2018, p. 109491, 2020, doi: 10.1016/j.rser.2019.109491.
- [27] J. M. Rey-López, P. P. Vergara-Barrios, G. A. Osma-Pinto, and G. Ordóñez-Plata, "Generalities about Design and Operation of Microgrids," *Dyna*, vol. 82, no. 192, pp. 109–119, 2015, doi: 10.15446/dyna.v82n192.48586.
- [28] E. Brenna, M. Faranda, R. Tironi, "Non-conventional Distribution Network Schemes Analysis with Distributed Generation," vol. 17, no. 2, 2002.
- [29] EPRI Electrical Power Research Institute web, "No Title." <http://www.epri.comnewsletter.asp?issueid=223603&marketid=8&targetid=83> &.
- [30] R. Carlos, B. Gruber, U. Polit, L. Garc, and M. C. Programa, "Universitat Politècnica De Catalunya Departament D' Enginyeria Electrònica Planificació Óptima De Redes Eléctricas En Baja Y Media Tensión Y Microrredes Eléctricas Inteligentes Multicriterio ( Optimized Planning of Low and Medium Voltage Grids and Micro," 2018.
- [31] L. R. Dohn, "The business case for microgrids White paper: The new face of energy modernization," 2011.
- [32] R. H. Lasseter, "Microgrids and distributed generation," *J. Energy Eng.*, vol. 133, no. 3, pp. 144–149, 2007.
- [33] C. Rae and F. Bradley, "Energy autonomy in sustainable communities - A review of key issues," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 9. Pergamon, pp. 6497–6506, Dec. 01, 2012, doi: 10.1016/j.rser.2012.08.002.
- [34] H. Kirchhoff, N. Kebir, K. Neumann, P. W. Heller, and K. Strunz, "Developing mutual success factors and their application to swarm electrification: microgrids with 100 % renewable energies in the Global South and Germany," *J. Clean. Prod.*, vol. 128, pp.

- 190–200, Aug. 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.03.080.
- [35] K. Sue, I. Macgill, and K. Hussey, “Distributed energy storage in Australia: Quantifying potential benefits, exposing institutional challenges,” *Energy Res. Soc. Sci.*, vol. 3, no. C, pp. 16–29, Sep. 2014, doi: 10.1016/j.erss.2014.07.004.
- [36] A. Szatow, G. Quezada, and B. Lilley, “New light on an old problem: Reflections on barriers and enablers of distributed energy,” *Energy Policy*, vol. 43, pp. 1–5, 2012, doi: 10.1016/j.enpol.2011.07.057.
- [37] J. Yuan, J. Shen, L. Pan, C. Zhao, and J. Kang, “Smart grids in China,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 37. Elsevier Ltd, pp. 896–906, Sep. 01, 2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.05.051.
- [38] K. G. Di Santo, E. Kanashiro, S. G. Di Santo, and M. A. Saidel, “A review on smart grids and experiences in Brazil,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 52. Elsevier Ltd, pp. 1072–1082, Aug. 22, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.07.182.
- [39] “Press Release | Microgrid Deployment Tracker 2Q19.” <https://guidehouseinsights.com/news-and-views/navigant-research-has-identified-4475-microgrid-projects-representing-nearly-27-gw-of-planned-and-in> (accessed Dec. 14, 2020).
- [40] A. Hirsch, Y. Parag, and J. Guerrero, “Microgrids: A review of technologies, key drivers, and outstanding issues,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 90, no. September 2017, pp. 402–411, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.03.040.
- [41] P. Basak, S. Chowdhury, S. Halder Nee Dey, and S. P. Chowdhury, “A literature review on integration of distributed energy resources in the perspective of control, protection and stability of microgrid,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 8. Pergamon, pp. 5545–5556, Oct. 01, 2012, doi: 10.1016/j.rser.2012.05.043.
- [42] R. D. Medina, “Microrredes Basadas en Electrónica de Potencia: parte II: Control de Potencia Activa y Reactiva,” *Ingenius*, no. 12, pp. 24–34, 2014, doi: 10.17163/ings.n12.2014.03.
- [43] T. E. Del Carpio Huayllas, D. S. Ramos, and R. L. Vasquez-Arnez, “Microgrid systems: Current status and challenges,” *2010 IEEE/PES Transm. Distrib. Conf. Expo. Lat. Am. T D-LA 2010*, vol. 900, pp. 7–12, 2011, doi: 10.1109/TDC-LA.2010.5762853.
- [44] O. Disthiuutun, S. Planning, P. R. Department, E. Engineering, and T. N. Delhi, “Optimal Distribution System Planning,” *Power*, no. 6, pp. 2969–2977, 1981.
- [45] J. L. Bernal, “Aplicación de Algoritmos Genéticos al Diseño Óptimo de Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica,” Universidad de Zaragoza, 1998.
- [46] F. Mendoza, J. L. Bernal-Agustin, and J. A. Domínguez-Navarro, “NSGA and SPEA applied to multiobjective design of power distribution systems,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 21, no. 4, pp. 1938–1945, 2006, doi: 10.1109/TPWRS.2006.882469.
- [47] R. P. Menon, M. Paolone, and F. Maréchal, “Study of optimal design of polygeneration systems in optimal control strategies,” *Energy*, vol. 55, pp. 134–141, Jun. 2013, doi: 10.1016/j.energy.2013.03.070.
- [48] B. Li, R. Roche, and A. Miraoui, “Microgrid sizing with combined evolutionary algorithm and MILP unit commitment,” *Appl. Energy*, vol. 188, pp. 547–562, 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.12.038.

- [49] M. Palencia, “Diseño de un algoritmo de optimización para la gestión de recursos energéticos distribuidos en una microrred,” 2017.
- [50] P. Barrenechea, R. De Oliveira, “Planificación a mediano plazo de redes de distribución eléctrica mediante algoritmos linealizados de optimización multicriterio,” Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela, 2010.
- [51] P. M. De Oliveira-De Jesús, M. T. Ponce De Leão, and H. M. Khodr, “Remuneration of distribution networks using a fuzzy multicriteria planning algorithm,” *2006 9th Int. Conf. Probabilistic Methods Appl. to Power Syst. PMAPS*, 2006, doi: 10.1109/PMAPS.2006.360266.
- [52] J. Ignizio, “P. Linear Programming in Single & Multiple Objective Systems,” The Pennsylvania State University, 1982.
- [53] M. A. Perez, A. Perez Hidalgo, and E. Perez Hidalgo, “Introducción a los sistemas de control y modelo matemático para sistemas lineales invariantes en el tiempo,” Universidad Nacional de San Juan, 2008.
- [54] M. M. Seron, “Sistemas No Lineales,” Universidad Nacional de Rosario, 2001.
- [55] C. Weber, F. Marechal, and D. Favrat, “Design and optimization of district energy systems,” *Comput. Aided Chem. Eng.*, vol. 24, pp. 1127–1132, 2007, doi: 10.1016/S1570-7946(07)80212-4.
- [56] Y. Muñoz and A. Ospino, “Selecting the Optimal Energy Mix and Sizing of a Isolated Microgrid,” *Energía y Medio Ambient.*, vol. 4, no. 7, pp. 59–67, 2013.
- [57] U. Akram, M. Khalid, and S. Shafiq, “Optimal sizing of a wind/solar/battery hybrid grid-connected microgrid system,” *IET Renew. Power Gener.*, vol. 12, no. 1, pp. 72–80, 2018, doi: 10.1049/iet-rpg.2017.0010.
- [58] J. Li, W. Wei, and J. Xiang, “A simple sizing algorithm for stand-alone PV/Wind/Battery hybrid microgrids,” *Energies*, vol. 5, no. 12, pp. 5307–5323, 2012, doi: 10.3390/en5125307.
- [59] W. Zhou, H. Yang, and Z. Fang, “Battery behavior prediction and battery working states analysis of a hybrid solar-wind power generation system,” *Renew. Energy*, vol. 33, no. 6, pp. 1413–1423, Jun. 2008, doi: 10.1016/j.renene.2007.08.004.
- [60] E. D. Mehleri, H. Sarimveis, N. C. Markatos, and L. G. Papageorgiou, “A mathematical programming approach for optimal design of distributed energy systems at the neighbourhood level,” *Energy*, vol. 44, no. 1, pp. 96–104, 2012, doi: 10.1016/j.energy.2012.02.009.
- [61] “GRASS GIS - Bringing advanced geospatial technologies to the world.” <https://grass.osgeo.org/> (accessed Jun. 21, 2021).
- [62] “Basaundi Bailara - Google Maps.” <https://www.google.es/maps/place/Basaundi+Bailara,+20160+Lasarte-Oria,+Gipuzkoa/@43.2565127,-2.0201832,627m/data=!3m2!1e3!4b1!4m5!3m4!1s0xd51b1a32c47be53:0xe265f06cc2be4fdb!8m2!3d43.2565127!4d-2.0179945> (accessed Jun. 20, 2021).
- [63] Idae - Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía - Departamento de Planificación y Estudios, “SPAHOUSEC II: Análisis estadístico del consumo de gas natural en las viviendas principales con calefacción individual,” *Idae*, p. 86, 2019, [Online]. Available: <https://www.idae.es/publicaciones/spahousec-ii-analisis-estadistico-del-consumo-de-gas-natural-en-las-viviendas>.

- [64] "Global Solar Atlas." <https://globalsolaratlas.info/map> (accessed Apr. 27, 2021).
- [65] "Clima Lasarte - meteoblue." [https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/lasarte\\_españa\\_3119027](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/lasarte_españa_3119027) (accessed Apr. 27, 2021).
- [66] R. Emper, M. Tutora, D. Eulalia, and J. Gago, "ANEJO DE CÁLCULO ENERGÉTICO."
- [67] "Cálculo de la distancia mínima entre placas solares « Ingelibre." <https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/01/18/calculo-de-la-distancia-minima-entre-placas-solares/> (accessed Jun. 11, 2021).
- [68] "👉 【 Cálculos de sombras y distancia - Energía solar térmica 1 】 ." <https://www.aulafacil.com/cursos/medio-ambiente/energia-solar-termica-1/calculos-de-sombras-y-distancia-137843> (accessed Jun. 20, 2021).
- [69] "SolCan Soluciones Ambientales, S.L. - Energía Solar Fotovoltaica." <http://www.solcansl.com/fotovoltaica.html> (accessed Jun. 20, 2021).
- [70] I. (CENER) Les\_Aguerre, "Modelo de simulación del consumo de energía eléctrica doméstica," *Pfc*, 2015, [Online]. Available: <https://academica-e.unavarra.es/handle/2454/16924>.
- [71] M. C. Rodríguez-Hidalgo, P. A. Rodríguez-Aumente, A. Lecuona, M. Legrand, and R. Ventas, "Domestic hot water consumption vs. solar thermal energy storage: The optimum size of the storage tank," *Appl. Energy*, vol. 97, pp. 897–906, 2012, doi: 10.1016/j.apenergy.2011.12.088.
- [72] IDAE, *Guía Técnica. Agua caliente sanitaria central*. 2010.
- [73] "Proyecto de Ley de Cambio Climático y transición energética," 2020.
- [74] S. Medina, *La importancia de la reducción del uso del automóvil en México. Tendencias de motorización, del uso del automóvil y de sus impactos*. 2012.
- [75] U. of C. Press., "Appleyard, D. Livable Streets, Berkeley, CA," 1981.
- [76] A. F. Cortés Borray, J. Merino, E. Torres, A. Garcés, and J. Mazón, "Centralised coordination of EVs charging and PV active power curtailment over multiple aggregators in low voltage networks," *Sustain. Energy, Grids Networks*, vol. 27, p. 100470, 2021, doi: 10.1016/j.segan.2021.100470.
- [77] A. F. C. Borray, J. Merino, E. Torres, and J. Mazón, "Optimal coordination of PV active power curtailment and evs charging among aggregators," *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 20, pp. 1–12, 2020, doi: 10.3390/app10207176.
- [78] J. K. Szinai, C. J. R. Sheppard, N. Abhyankar, and A. R. Gopal, "Reduced grid operating costs and renewable energy curtailment with electric vehicle charge management," *Energy Policy*, vol. 136, p. 111051, 2020, doi: 10.1016/j.enpol.2019.111051.
- [79] H. Kikusato *et al.*, "Electric Vehicle Charging Management Using Auction Mechanism for Reducing PV Curtailment in Distribution Systems," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 11, no. 3, pp. 1394–1403, 2020, doi: 10.1109/TSTE.2019.2926998.