



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIERÍA  
INDUSTRIAL VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA



# ESTUDIO DE VIABILIDAD DE PÉRGOLAS FOTOVOLTAICAS QUE SE LOCALIZARÁN EN ESPACIOS PÚBLICOS PARA AUTOCONSUMO DE EDIFICIOS MUNICIPALES: APLICACIÓN A LA CIUDAD DE VALENCIA

AUTOR: Fermín Betelu Cuervo

TUTOR: Carlos Afranio Vargas Salgado

COTUTOR:  Iván Cuesta Fernandez

Curso Académico: 2020-21 

## RESUMEN

En el presente trabajo se estudian las posibilidades del autoconsumo de instituciones públicas de la ciudad de Valencia mediante la utilización de pérgolas fotovoltaicas localizadas en espacio público, con el objetivo de complementar las instalaciones fotovoltaicas en las cubiertas de los edificios que permitan abastecer consumos eléctricos mayores y así contribuir al desarrollo sostenible de la ciudad.

Para ello, en primer lugar, se localizaron los edificios y fuentes públicas de la ciudad que más electricidad consumieron durante el año 2018 con ayuda de un archivo facilitado por el ayuntamiento con los registros de los consumos eléctricos de Valencia. Posteriormente, se seleccionaron y clasificaron 280 superficies libres de obstáculos sobre las que implementar pérgolas fotovoltaicas en espacio público para el autoconsumo de los edificios y fuentes seleccionados con anterioridad. En cumplimiento del Real Decreto 244 de 2019, estos espacios se localizaron en un radio de 500 metros respecto a los puntos de medición. A continuación, se calculó la producción fotovoltaica máxima de las ubicaciones propuestas y se determinó el potencial de abastecimiento disponible para las instituciones seleccionadas, para finalmente realizar un análisis de viabilidad de una de las instalaciones fotovoltaicas en espacio público propuestas utilizando el software HOMER, obteniéndose resultados económicamente favorables y proponiendo así una nueva manera de autoconsumo capaz de generar ahorros económicos, dotar de espacios de sombra a la ciudad y fomentar las instalaciones de autoconsumo a la ciudadanía.

Con los resultados obtenidos en este trabajo se estima que se podrían generar 18.438 MWh anuales con pérgolas fotovoltaicas ubicadas en espacio público, de los cuales, combinado con el potencial fotovoltaico disponible en las cubiertas de los edificios públicos, 10.639 MWh serían directamente aprovechables para el abastecimiento de las instituciones seleccionadas en este trabajo. Este potencial estimado corresponde al 40% del consumo eléctrico total de los edificios y fuentes seleccionados y supondría una reducción de emisiones de 3.520 Toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, ayudando de esta manera a cumplir los objetivos medioambientales marcados por la Unión Europea.

**Palabras clave:** Pérgolas fotovoltaicas, espacio público, autoconsumo, desarrollo sostenible, emisiones,

## ABSTRACT

In this TFG, the possibilities of self-consumption of public institutions in the city of Valencia are studied through the use of photovoltaic pergolas located in public spaces, with the aim of complementing the photovoltaic installations on the roofs of buildings that allow to supply higher electricity consumption thus contribute to the sustainable development of the city.

To do this, in the first place, the buildings and public fountains in the city that consumed the most electricity during 2018 were located with the help of a file provided by the city council with the records of electricity consumption in Valencia. Subsequently, 280 obstacle-free surfaces were selected and classified on which to implement photovoltaic pergolas in public spaces for the self-consumption of the buildings and fountains previously selected. In compliance with RD 244/ 2019, these spaces were located within a radius of 500 meters from the measurement points. Next, the maximum photovoltaic production of the proposed locations was calculated and the supply potential available for the selected institutions was determined, to finally carry out a feasibility analysis of one of the proposed photovoltaic installations in public spaces using the HOMER software, obtaining economically favorable results and thus proposing a new way of self-consumption capable of generating economic savings, providing shady spaces to the city and promoting self-consumption installations to citizens.

With the results obtained in this work, it is estimated that 18,438 MWh per year could be generated with photovoltaic pergolas located in public spaces, of which, combined with the photovoltaic potential available on the roofs of public buildings, 10,639 MWh would be directly usable to supply the selected buildings. This estimated potential corresponds to 40% of the total electricity consumption of buildings and fountains selected and would mean a reduction in emissions of 3,520 tons of CO<sub>2</sub> into the atmosphere, thus helping to meet the environmental objectives set by the European Union.

**Keywords:** Photovoltaic pergola, public space, self-consumption, sustainable development, emissions

# INDICE GENERAL

I. MEMORIA

II. PRESUPUESTO

III. ANEXO

IV. PLANOS

## I. ÍNDICE DE LA MEMORIA

MEMORIA .....	10
Capítulo 1. Introducción.....	11
1.1 Objetivos y alcance del TFG.....	11
1.2 Generación eléctrica en Europa .....	11
1.2 Situación actual en España.....	13
1.3 Justificación del estudio de instalaciones fotovoltaicas en espacio público.....	14
1.3.1 Potencial Fotovoltaico en España. ....	14
1.3.2 Transición energética en las ciudades.....	16
1.3.3 Potencial fotovoltaico en las ciudades. Antecedentes.....	18
1.4 Legislación aplicable a las instalaciones propuestas.....	20
1.5 Metodología general llevada a cabo en este trabajo.....	22
1.5.1 Herramientas utilizadas.....	22
1.5.2 Procedimiento.....	24
Capítulo 2. Potencial fotovoltaico en espacio público para abastecer consumos públicos.....	25
2.1 Consumos eléctricos del ayuntamiento de Valencia. ....	25
2.2 Selección de los casos de estudio. Localización de edificios y fuentes públicas con mayores consumos. ....	27
2.3 Espacios públicos disponibles en Valencia. Criterios de ubicación de las pérgolas fotovoltaicas. ....	29
2.4 Tipologías del espacio público disponible.....	30
2.4.1 Tipo I.....	31
2.4.2 Tipo II.....	31

2.4.4 Tipo IV.....	32
2.4.5 Tipo V.....	33
2.4.6 Tipo VI.....	33
2.5 Pérdidas por sombras del espacio público utilizando datos LIDAR.....	35
2.5.1 Comprobación manual del cálculo de sombras. ....	37
2.5.2 Aplicación del cálculo de sombras a las ubicaciones seleccionadas. ....	41
2.6 Potencial de generación fotovoltaica en espacio público.....	42
2.7 Estimación del autoconsumo municipal. ....	45
2.8 Potencial fotovoltaico en las cubiertas. ....	45
2.9 Resultados. ....	47
2.9.1 Pérgolas fotovoltaicas para el abastecimiento de los mercados públicos.....	48
2.9.2 Generación fotovoltaica en las escuelas. ....	51
Capítulo 3. Viabilidad económica de una de las ubicaciones recomendadas para pérgolas fotovoltaicas. .....	53
3.1 Procedimiento realizado. ....	53
3.2 Pérdidas por sombra de la localización.....	55
3.3 Localización de los edificios municipales cercanos. Obtención de las curvas de consumo... 59	
3.3.1 Obtención de las curvas de consumo de los edificios seleccionados. ....	61
3.4 Selección de los componentes de la instalación.....	65
3.4.1 Paneles fotovoltaicos. ....	65
3.4.2 Inversor fotovoltaico. ....	67
3.5 Disposición de las pérgolas fotovoltaicas.....	67
3.5.1 Separación mínima entre pérgolas. ....	71
3.6 Costes de Construcción de la pérgola. ....	73
3.7 Pérgola instalada en el parque de Ayora. Potencial fotovoltaico. ....	73
3.8 Viabilidad económica de la instalación. HOMER 2.68.....	75
3.8.1 Instalación de autoconsumo individual para el centro de ocupación y formación. ....	77
3.8.2 Instalación de autoconsumo individual para el centro de coordinación de Algirós. ....	80
3.8.3 Instalación de autoconsumo colectivo para los colegios cercanos seleccionados. ....	82
3.8.4 Autoconsumo colectivo de la instalación fotovoltaica.....	85
3.9 Resultados de las simulaciones con HOMER para los casos propuestos. ....	86

Capítulo 4. Conclusiones .....	89
--------------------------------	----

## II. ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

<b>PRESUPUESTO</b> .....	94
1 Presupuesto general de la instalación fotovoltaica. ....	95
2 Costes referidos a los honorarios.....	96
2.1 Costes de mano de obra. ....	96
2.2 Costes de oficina técnica.....	96
2.3 Coste total. ....	97

## III. ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXOS</b> .....	84
ANEXO 1. Dimensionado de la instalación fotovoltaica con HOMER2.68 .....	99
1.1 Añadir componentes.....	99
1.2 Cargas eléctricas.....	100
1.3 Convertidor.....	102
1.4 Paneles fotovoltaicos.....	103
1.5 Radiación Solar. ....	106
1.6 Temperatura ambiente. ....	107
1.7 Conexión a red.....	107
ANEXO 2. Tabla de generación fotovoltaica en espacio público y en cubierta estimada para los colegios públicos seleccionados.....	108

## IV. ÍNDICE DE PLANOS

<b>PLANOS</b> .....	111
1. Ubicación de las pérgolas fotovoltaicas propuestas en el parque de Ayora.....	111
2. Distribución de la pérgola propuesta .....	112

## V. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Porcentaje de energía procedente de fuentes renovables de los países de la Unión Europea, 2018. (Eurostat, 2020).....	12
Figura 2. Radiación global incidente en Alemania, Italia y España. (Comisión Europea, 2020a).....	14
Figura 3. Potencia fotovoltaica instalada en España. (Universidad de Málaga, 2020). ....	15
Figura 4. Potencia fotovoltaica instalada en Europa 2018 y 2019. (M.Schmela, Solar Power Europe, 2019).....	16
Figura 5. Distribución del consumo eléctrico Valencia 2018. (Oficina de estadística Ayuntamiento de Valencia, 2019).....	26
Figura 6. Perfil diario de una instalación fotovoltaica, sobre un perfil de consumo. (Eva Pijuan, 2013) .....	26
Figura 7. Ubicación de los edificios y fuentes públicas de Valencia con consumos más altos. (Google Earth).....	27
Figura 8. Distribución por tipos de los consumos eléctricos del Ayuntamiento de Valencia localizados en este trabajo .....	28
Figura 9. Consumos eléctricos totales del Ayuntamiento de Valencia(naranja) respecto a los consumos localizados para el estudio (azul). ....	28
Figura 10. Planeamiento General de Valencia y leyenda. (Ayuntament de Valencia, s. f.) .....	29
Figura 11. Ejemplo de localización Tipo I. (Google Earth).....	31
Figura 12. Ejemplo de localización Tipo II. (Google Earth).....	31
Figura 13. Ejemplo de localización Tipo III. (Google Earth).....	32
Figura 14. Ejemplo de localización Tipo IV. (Google Earth).....	32
Figura 15. Ejemplo de localización Tipo V. (Google Earth).....	33
Figura 16. Ejemplo de localización Tipo VI. (Google Earth).....	33
Figura 17. Imagen aérea de la coordenada a calcular. (Google Earth) .....	35
Figura 18. Obstáculos detectados y horizonte de sombras generado para la coordenada 39.45503164; -0.3212715, (Software desarrollado por E. Fuster J. Payá Herrero y C. Prades Gil. (2019)). ....	36
Figura 19. Trayectoria solar y horizonte generado para la coordenada 39.45503164; -0.3212715. (Software desarrollado por E. Fuster J. Payá Herrero y C. Prades Gil. (2019)). ....	37
Figura 20. Imagen aérea de la coordenada a calcular y los puntos de referencia de los edificios. (Google earth).....	38
Figura 21. Áreas de los árboles que han sido unificadas para el cálculo manual de sombras. (Google earth).....	38
Figura 22. Diagrama de trayectoria solar para la península. (D.B HE5. IDAE, 2017).....	39

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

Figura 23. Pérdidas por sombras de la coordenada en el diagrama solar. (CE3X).....	40
Figura 24. Pérdidas por sombras estimadas para cada tipología de espacio clasificada.....	41
Figura 25. Concepto gráfico de la unidad HSP. (Christiana Honsberg y Stuart Bowden, s. f.).....	43
Figura 26. Generación fotovoltaica anual estimada con pérgolas fotovoltaicas para cada distrito y consumos eléctricos anuales de instituciones públicas y fuentes localizadas en este trabajo por distritos (Valencia).....	44
Figura 27. Potencial de generación anual estimada en cubierta y en espacio público por distritos para los edificios públicos seleccionados. ....	47
Figura 28. Consumos y generación anual estimadas en cubierta y en espacio público para los mercados de Valencia administrados por el ayuntamiento. ....	49
Figura 29. Mercado de Mossen Sorell junto a las pérgolas fotovoltaicas propuestas para cada mercado. (Google Earth) .....	50
Figura 30. Mercados de Patraix y Benicalap junto a las ubicaciones de pérgolas fotovoltaicas propuestas para cada mercado. (Google Earth). ....	50
Figura 31. Mercados de Algirós y Torrefiel junto a las pérgolas fotovoltaicas propuestas para cada mercado. Imágenes obtenidas con Google Earth. ....	51
Figura 32. Vista aérea del parque de Ayora. (Google Earth).....	53
Figura 33. Vista aérea del parque de ayora. ( Google Earth) .....	56
Figura 34. Puntos donde han sido calculadas las pérdidas por sombras del parque. (Google Earth). .	57
Figura 35. Pérdidas por sombras de los edificios cercanos en el diagrama solar del Punto 2 (izquierda) y Punto 1 (derecha). (CE3X).....	57
Figura 36. Pérdidas por sombras de los edificios cercanos en el diagrama solar del Punto 3 (izquierda) y Punto 4 (derecha). (CE3X).....	57
Figura 37. Pérdidas por sombras de los edificios cercanos en el diagrama solar del Punto 7 (izquierda) y Punto 8 (derecha). (CE3X).....	58
Figura 38. Pérdidas por sombras de los edificios cercanos en el diagrama solar del Punto 5 (izquierda) y Punto 6 (derecha). (CE3X).....	58
Figura 39. Vista aérea del parque de ayora y los consumos públicos seleccionados, localizados en un radio de 500 metros. (Google Earth).....	59
Figura 40. Curvas de consumo obtenidas con HOMER2.68 e imagen aérea de los Colegios Adlert Noguero (izquierda) y Antonio García Lopez(derecha). (Google Earth) .....	63
Figura 41. Curva de consumo obtenida con HOMER2.68 e imagen aérea del colegio CEIP Explorador Andrés. (Google Earth).....	63
Figura 42. Curvas de consumo obtenidas con HOMER2.68 e imagen aérea del colegio Santiago Grisolia (izquierda) y el Centro municipal de Juventudes de Algirós. (Google Earth).....	64



Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

Figura 43. Curva de consumo obtenida con HOMER2.68 e imagen aérea del centro de ocupación y formación. (Google Earth).....	64
Figura 44. Superficie en la que serán localizadas las pérgolas. Parque de Ayora, Valencia. 46022. (Google Earth). .....	67
Figura 45. Pérgola del Fòrum construida en 2004 de 550kWp (Ayuntamiento de Barcelona, s. f).....	68
Figura 46. Configuración propuesta para las pérgolas a instalar en el parque de ayora. (AUTOCAD) .	69
Figura 47. Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación e inclinación para una latitud de 41º. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red (IDAE), 2011. ....	70
Figura 48. Distancia mínima a calcular entre dos filas de paneles. (Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red (IDAE), 2011) .....	71
Figura 49. Plano 1. Ubicaciones propuestas para las pérgolas fotovoltaicas en el parque de ayora. (AUTOCAD) .....	72
Figura 50. Pérgola instalada en el parque de ayora (40m x 4.5m x 4m). (Google Earth). .....	74
Figura 51. Curva de carga del centro de ocupación y formación. (HOMER 2.68).....	77
Figura 52. Centro de ocupación y formación. (Google Earth).....	77
Figura 53. Generación fotovoltaica mensual y consumos de red estimados para la instalación fotovoltaica propuesta. (HOMER 2.68) .....	78
Figura 54. Consumo del centro de ocupación (rojo), potencia fotovoltaica (amarillo) y ventas de excedentes a la red (verde) simuladas para una semana de enero. (HOMER 2.68).....	78
Figura 55. Curva de carga del centro de coordinación de juventudes. Imagen obtenida de HOMER 2.68 .....	80
Figura 56. Centro de coordinación de juventudes de Algirós. (Google Earth).....	80
Figura 57. Consumo del centro de coordinación juventudes. (rojo), potencia fotovoltaica (amarillo) y ventas de excedentes a la red (verde) simuladas para la última semana de febrero. (HOMER 2.68)..	81
Figura 58. Curva de carga del conjunto de los colegios Adlert Noguerol, Prof. Grisolia, Antonio García y Exp. Andrés. (HOMER 2.68).....	82
Figura 59. Generación fotovoltaica mensual y consumos de red estimados para la instalación fotovoltaica propuesta. (HOMER2.68) .....	83
Figura 60. Consumo del centro de ocupación junto a los 4 colegios seleccionados. (rojo), potencia fotovoltaica (amarillo) y ventas de excedentes a la red (verde) simuladas para la instalación fotovoltaica propuesta. (HOMER2.68) .....	85
Figura 61. Panel de selección de componentes. (HOMER 2.68) .....	99
Figura 62. Selección de los componentes. (HOMER 2.68) .....	100
Figura 63. Distribución consumos introducidos. (HOMER 2.68).....	101

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

Figura 64. Datos introducidos en el inversor. (HOMER 2.68).....	102
Figura 65. Datos introducidos en el módulo fotovoltaico. (HOMER 2.68).....	105
Figura 66. Radiación solar introducida para el parque de ayora (30º). (HOMER 2.68) .....	106
Figura 67. Temperaturas intoducidas para el parque de ayora. (HOMER 2.68) .....	107
Figura 68. Datos de conexión de red introducidos. (HOMER 2.68) .....	108

# MEMORIA

## Capítulo 1. Introducción.

### **1.1 Objetivos y alcance del TFG.**

El objetivo general de este Trabajo de Fin de Grado es calcular el potencial de abastecimiento eléctrico de edificios municipales a través del autoconsumo en red alimentado desde plantas fotovoltaicas ubicadas en espacios públicos que permitan complementar la generación fotovoltaica disponible en las cubiertas de los edificios y otorguen a la ciudad mayores superficies de generación con las que abastecer consumos eléctricos superiores.

A medio plazo, el trabajo también pretende contribuir a formular un plan de despliegue de plantas fotovoltaicas en el espacio público para el abastecimiento eléctrico en modalidad de autoconsumo conectado a red con compensación de excedentes de todos los edificios municipales de València. Para lograr el objetivo principal deben cumplirse los siguientes objetivos específicos:

- Establecer los consumos eléctricos del ayuntamiento a los que abastecer.
- Determinar las posibles ubicaciones de instalaciones fotovoltaicas en el espacio público disponible.
- Determinar el potencial de instalar sistemas fotovoltaicos en sistemas urbanos.
- Estimar la generación fotovoltaica en espacio público de la ciudad de Valencia, concretamente para el abastecimiento de instituciones públicas.
- Realizar un análisis en mayor detalle de una instalación fotovoltaica en espacio público con el fin de comprobar la viabilidad de estas instalaciones.

### **1.2 Generación eléctrica en Europa**

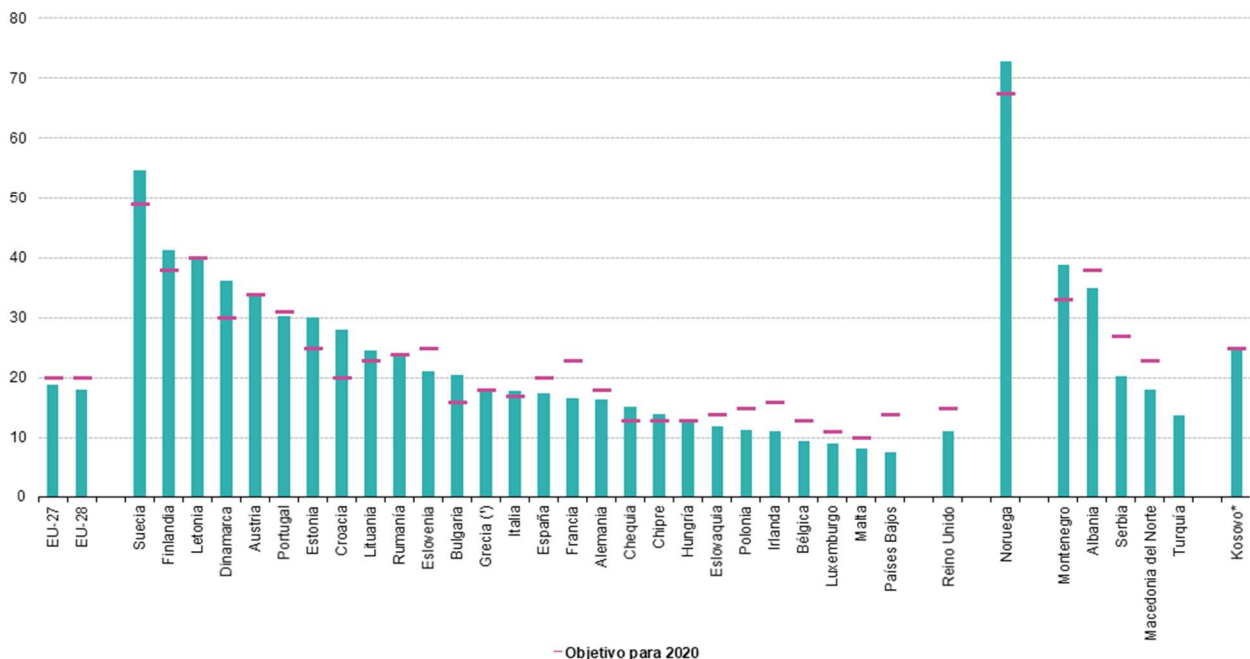
Por lo que respecta a la generación de energía eléctrica en Europa, la mayor parte de la energía consumida en la Unión Europea procede de los combustibles fósiles, siendo del 72,6% respecto al consumo interior bruto en 2015 (Agencia Europea de Medio Ambiente (2017)). Esto supone un problema para la región, ya que la mayoría de estas fuentes no renovables son importadas de otros países y/o emiten una gran cantidad de gases de efecto invernadero, produciendo efectos devastadores al medioambiente.

Debido a esto, durante los últimos años se ha establecido en la Unión Europea una política de producción y promoción de la energía de fuentes renovables, con el fin de permitir asegurar la independencia energética de la región, reducir las emisiones de gases nocivos y contribuir a mejoras medioambientales. Para ello, se han ido aprobando una serie de medidas en la región sobre clima y energía a lo largo de los últimos años. El marco de actuación en materia de clima y energía para el periodo 2020-2030 (COM(2014)/015 final) contempla una serie de metas y objetivos políticos para la UE durante el periodo de 2021-2030 relacionados con la emisión de gases de efecto invernadero y energías renovables. Entre los objetivos claves marcados para 2030, podemos destacar los siguientes puntos:

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

- Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero un 40% (con respecto a 1990) y cumplir así sus compromisos con arreglo al Acuerdo de París.
- Aumentar la cuota de generación con energías renovables al menos al 32% en el consumo final de energía. Para 2020 el objetivo marcado era del 20% (Figura 1)
- Mejora de la eficiencia energética al 32,5%

**Porcentaje de energía procedente de fuentes renovables, 2018**  
(en % del consumo final bruto de energía)



\* Esta denominación se entiende sin perjuicio de las posiciones sobre su estatuto y está en consonancia con la Resolución 1244 (1999) del Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas y con la Opinión de la Corte Internacional de Justicia sobre la declaración de independencia de Kosovo.

(\*) Estimación.

Figura 1. Porcentaje de energía procedente de fuentes renovables de los países de la Unión Europea, 2018. (Eurostat, 2020).

Con este marco, se pretende ayudar a avanzar hacia una economía baja en carbono y a establecer un sistema energético que garantice energía asequible a todos los consumidores, aumente la seguridad del suministro energético de la UE, reduzca la dependencia de las importaciones de energía y cree nuevas oportunidades de crecimiento y empleo, con el objetivo final de que la región alcance una economía próspera, moderna, competitiva y climáticamente neutra. (Comisión Europea (2017))

Por todo ello, con el fin de cumplir los objetivos medioambientales marcados para el año 2030, la UE (Unión Europea) ha demandado a cada Estado miembro la elaboración de un Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC), incluyendo un calendario de actualización de los planes cada cinco años y estableciendo que los Estados miembros deberán presentar informes de progreso cada 2 años, realizándose el primer informe en 2023.

## 1.2 Situación actual en España.

En esta tesitura donde los estados miembros de la Unión Europea se han propuesto cumplir los objetivos medioambientales recogidos en el marco de clima y energía, España ha mostrado su compromiso con la crisis climática presentando a la UE un borrador del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Gobierno de España. (2020)), donde los principales objetivos marcados para 2030 han sido los siguientes:

- Reducción del 23% de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) respecto a 1990.
- Aumentar hasta el 42% la cuota de generación renovable respecto uso final de la energía.
- Mejora de la eficiencia energética al 39,5%
- 74% de la generación eléctrica a partir de fuentes renovables.

Según la previsión realizada por el plan, los sectores difusos (residencial, transporte, agricultura, residuos, gases fluorados e industria no sujeta al comercio de emisiones) deberán de mitigar sus emisiones en un 39% para 2030, con respecto a niveles de 2005, mientras que aquellos sectores sujetos al comercio con derechos de emisión lo harán con una disminución del 61% con respecto a 2005.

<b>Proyección de emisiones en el Escenario Objetivo (Kilotoneladas de CO2 equivalente)</b>						
<b>Años</b>	<b>1990</b>	<b>2005</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2025</b>	<b>2030</b>
<i>Transporte</i>	59.199	102.310	83.197	87.058	77.651	59.875
<i>Generación de energía eléctrica</i>	65.864	112.623	74.051	56.622	26.497	20.603
<i>Sector industrial (combustión)</i>	45.099	68.598	40.462	37.736	33.293	30.462
<i>Sector industrial (emisiones de procesos)</i>	28.559	31.992	21.036	21.147	20.656	20.017
<i>Sector residencial, comercial e institucional</i>	17.571	31.124	28.135	28.464	23.764	18.397
<i>Ganadería</i>	21.885	25.726	22.854	23.247	21.216	19.184
<i>Cultivos</i>	12.275	10.868	11.679	11.382	11.089	10.797
<i>Residuos</i>	9.825	13.389	14.375	13.657	11.932	9.718
<i>Industria del refino</i>	10.878	13.078	11.560	12.330	11.969	11.190
<i>Otras industrias energéticas</i>	2.161	1.020	782	825	760	760
<i>Otros sectores</i>	9.082	11.729	11.991	12.552	11.805	11.120
<i>Emisiones fugitivas</i>	3.837	3.386	4.455	4.789	4.604	4.362
<i>Uso de productos</i>	1.358	1.762	1.146	1.236	1.288	1.320
<i>Gases fluorados</i>	64	11.465	10.086	8.267	6.152	4.037
<b>Total</b>	<b>287.657</b>	<b>439.070</b>	<b>335.809</b>	<b>319.312</b>	<b>262.676</b>	<b>221.842</b>

Tabla 1. Proyección de emisiones totales en el escenario objetivo. (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Gobierno de España, 2020).

## Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

Para conseguir estos objetivos, se deben de producir grandes cambios en sectores como el transporte y aumentar la generación eléctrica a partir de fuentes renovables.

Dado que tres de cada cuatro toneladas de gases de efecto invernadero se originan en el sistema energético (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2020)), en este trabajo nos enfocaremos en la producción de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos en espacio urbano que reduzcan las emisiones producidas por el consumo energético, ya que, como se verá a continuación, las condiciones climáticas en España son idóneas para la generación fotovoltaica y es una fuente compatible con el abastecimiento de vehículos eléctricos, un factor clave en el sector del transporte que permitirá disminuir la emisión de gases contaminantes en las áreas urbanas.

### **1.3 Justificación del estudio de instalaciones fotovoltaicas en espacio público.**

#### 1.3.1 Potencial Fotovoltaico en España.

Con una irradiación entre 1.300 kWh/m<sup>2</sup> y 2.100 kWh/m<sup>2</sup> anuales (Figura 2), España posee unas características excelentes a lo largo de todo el territorio para el desarrollo de energías solares, ya sea solar térmica o fotovoltaica.

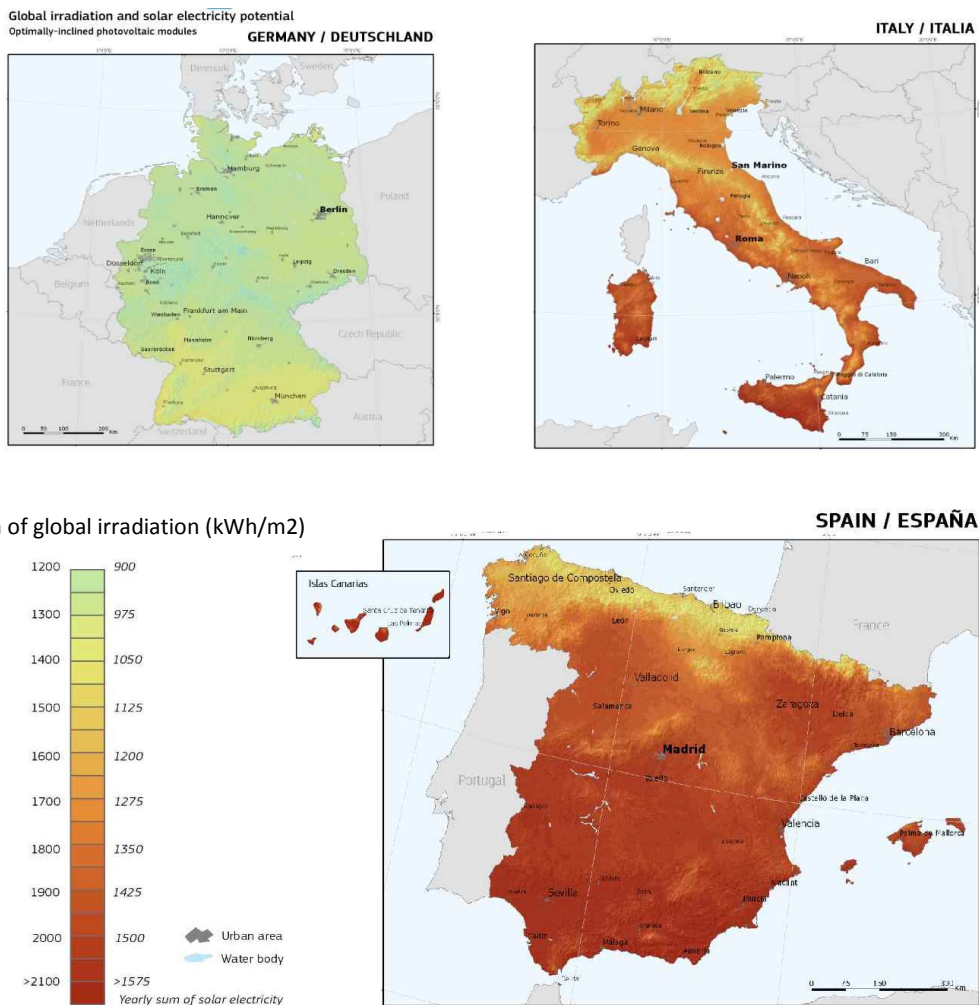


Figura 2. Radiación global incidente en Alemania, Italia y España. (Comisión Europea, 2020a).

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

Pese a ello, el potencial de esta fuente renovable no está siendo aprovechada lo suficiente. Si comparamos los mapas de irradiaciones solares a lo largo del año en la península ibérica con las irradiaciones de otros países de la unión europea podemos ver que el territorio español tiene irradiaciones solares considerablemente superiores en comparación con Alemania y los países más al norte de Europa. Sin embargo, en Alemania hay 6 veces más potencia solar instalada que en España (Solar Power Europe (2019)).

País	Fracción de Energía Solar / E. Total	GWh producidos al año / MW potencia instalada	Potencia instalada MW	Irradiancia solar anual media (kWh / m2)
Alemania	6,90%	0,937	43921,5	3,0
España	4,70%	1,736	7017,9	4,5
Italia	8,16%	1,138	20120	4,1

Tabla 2. Comparación entre el potencial fotovoltaico instalado en España, Alemania e Italia. (Solar Power Europe, 2019).

El potencial de las energías renovables solares en España es muy amplio, y es primordial su aprovechamiento para la descentralización de los sistemas de producción y la reducción de las emisiones GEI (Gases de Efecto Invernadero) a la atmósfera.

Actualmente, el nuevo marco legal de autoconsumo favorece el crecimiento del sector fotovoltaico, un sector que debe de ser puntero en la transición energética y no se estaba aprovechando lo suficiente, principalmente cuando estaba en activo el Real Decreto 14/2010, una ley que reducía las retribuciones un 45% para grandes instalaciones, entre otros aspectos. Posteriormente se impulsó también una restrictiva regulación para el autoconsumo, conocida como “impuesto al sol” que, unida a la crisis que atravesaba España, provocó una detención en las inversiones y potencia instalada hasta el año 2019 (Figura 3).

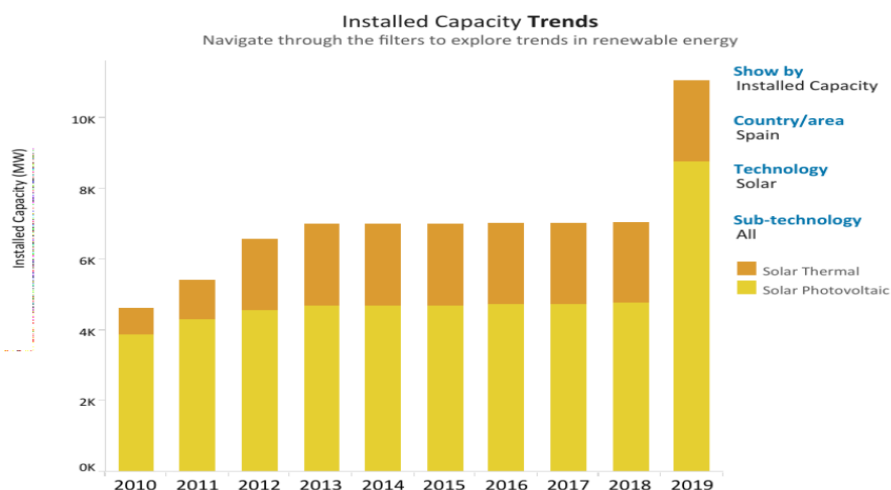


Figura 3. Potencia fotovoltaica instalada en España. (Universidad de Málaga, 2020).



## Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

A partir de 2019, la reducción de costes del sector fotovoltaico y las nuevas regulaciones impuestas por los gobiernos ha provocado que las instalaciones fotovoltaicas vuelvan a ser rentables en España, lo que ha conllevado a que este sea uno de los países que más potencia instaló en el año 2019 (Figura 4). En cuanto al potencial fotovoltaico para autoconsumo, en el año 2020 se instalaron 596 MW en toda España, lo que supone un incremento del 30% respecto a 2019, por resulta de gran interés seguir desarrollando las instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo en el territorio.

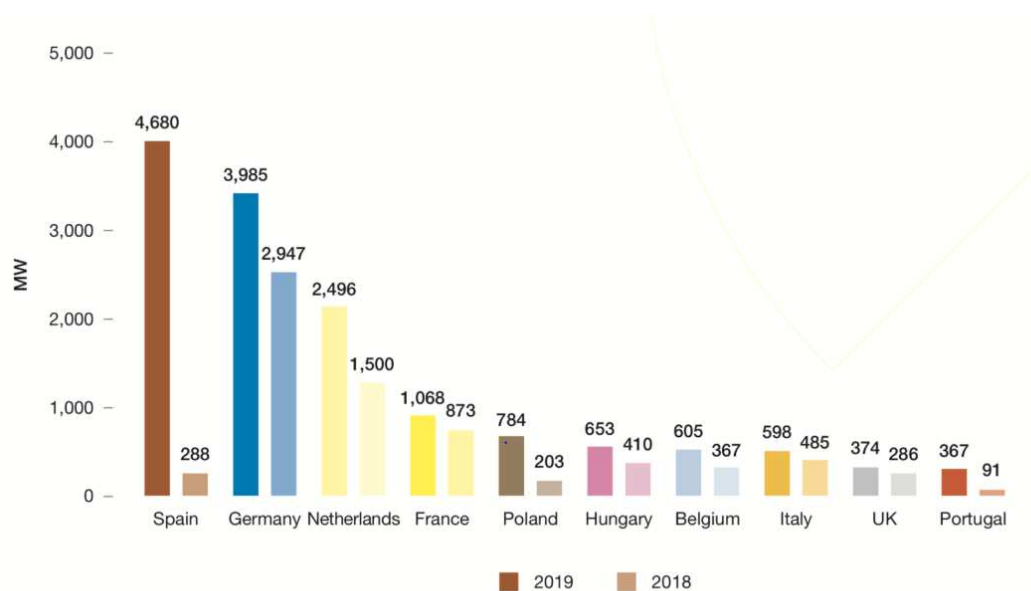


Figura 4. Potencia fotovoltaica instalada en Europa 2018 y 2019. (M.Schmela, Solar Power Europe, 2019).

### 1.3.2 Transición energética en las ciudades.

Volviendo al contexto energético europeo, cuyo fin es reducir las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera, las grandes áreas urbanas juegan un papel crucial en las estrategias de descarbonización de la Unión Europea, tal y como señalan diversos estudios. De acuerdo con las Naciones Unidas (2017), las ciudades consumen el 78% de la energía mundial y producen más del 60% de las emisiones de gases de efecto invernadero. Estas concentran aproximadamente al 80% de la población, y se prevé que, para el año 2050, el 88% de los ciudadanos vivirán en ciudades según las proyecciones de la División de Población de las Naciones Unidas (2018).

Siguiendo en esta tesitura y con el objetivo de alcanzar el objetivo de descarbonización marcado por la Unión Europea y recogido en el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima, la mayoría de las ciudades españolas se ha comprometido, a través del Pacto de los Alcaldes, a reducir sus emisiones GEI (gases de efecto invernadero) en un 40% para el año 2030 (Comisión Europea(2020b)), y podemos encontrar diversos estudios y programas que incitan a desarrollar nuevas medidas para mejorar la sostenibilidad energética en las ciudades europeas, como el programa desarrollado por JPI Urban Europe (2020).

## Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

El fin de este programa es el de realizar un proceso de implementación holístico que permita el desarrollo de 100 barrios y distritos de la Unión Europea que produzcan su propia energía de forma renovable y produzcan un balance neto de 0 emisiones anuales de CO<sub>2</sub> para el año 2025. Entre los 20 países que participan en este programa se encuentra España, y este señala la importancia de desarrollar estudios que permitan abordar este desafío, el intercambio de conocimientos y el papel clave que tendrán las administraciones públicas en el futuro desarrollo de ciudades sostenibles que minimicen las emisiones de CO<sub>2</sub> y con un balance positivo de energía.

Sin embargo, a pesar de los esfuerzos que se están llevando a cabo en las ciudades españolas para mejorar la sostenibilidad de las ciudades, encontramos otros estudios que advierten que al ritmo actual no se cumplirán los objetivos marcados, previendo un aumento de las emisiones GEI y la contaminación de las ciudades por el aumento de la población y la actividad económica hasta el año 2030. (Deloitte (2019)).

Para conseguir esta necesaria reducción de emisiones en las ciudades, el mismo estudio señala la importancia de favorecer la renovación de equipos antiguos en el final de su vida útil por otras opciones más eficientes y menos contaminante, seguir reduciendo el factor de emisión del mix de generación eléctrica con el incremento de energías renovables y realizar grandes cambios en el sector del transporte, principal causante de las emisiones de NO<sub>x</sub> en las ciudades.

Es por ello que fomentar el autoconsumo a través de instalaciones fotovoltaicas en entornos urbanos contribuirá considerablemente al desarrollo sostenible de las áreas urbanas, y pueden suponer un factor clave en las recargas de vehículos eléctricos y por consiguiente en la sostenibilidad en el sector del transporte, donde la electrificación de los vehículos parece ser el futuro de este sector. Sin embargo, el despliegue de plantas para autoconsumo en red de hogares, comercios e industrias en ciudades está siendo muy lento, principalmente debido a la relativa novedad de la legislación que desarrolla el autoconsumo en red (aprobada en 2018).

Ante la magnitud del reto propuesto para los barrios y ciudades europeas, las instituciones públicas deben de aprovechar el papel ejemplarizante y pedagógico que poseen comenzando a desarrollar modalidades de autoconsumo en sus propias instituciones que sirvan de ejemplo y arrastren a la ciudadanía a instalar sistemas de autoconsumo conectadas a red en sus viviendas, con el fin de obtener beneficios económicos y favorecer el desarrollo sostenible de las ciudades.

En este trabajo se plantea la utilización de instalaciones fotovoltaicas localizadas en espacios públicos para el autoabastecimiento energético de instituciones públicas de la ciudad de València. Al hacer uso de pérgolas fotovoltaicas para el abastecimiento público se dotarían de espacios libres de sombras a la ciudad, se aumentarían los puntos de recarga de vehículos eléctricos y podría fomentar un nuevo nicho de negocio energético en las ciudades que fomente el autoconsumo de la ciudadanía.

### 1.3.3 Potencial fotovoltaico en las ciudades. Antecedentes.

Podemos encontrar diversos estudios que se plantean el aprovechamiento de la energía solar para abastecer los consumos eléctricos de ciudades de diferentes partes del mundo. En el artículo científico desarrollado por J. Byrne, J. Taminiau, L. Kurdgelashvili, y K. Nam Kim (2015), se evalúa el potencial técnico fotovoltaico de ciudades como Nueva York o Hong Kong, estimando unos porcentajes de generación fotovoltaica considerablemente altos para estas inmensas ciudades (Tabla 3).

<b>Overview of a selection of cities solar PV technical potential estimates</b>								
City	Population (millions)	Rooftop PV (GWp)	Rooftop PV (TWh/year)	Land area	MWp on suitable rooftop / km <sup>2</sup>	GWh from suitable rooftop / (km <sup>2</sup> / year)	Electricity Consumption (TWh)	Share of electricity consumption
NYC (USA)	8,3	8,1	12,3	302,64	26,8	40,6	54,1 (2011)	22,75%
San Francisco (USA)	0.83	0.4	0.44	121.4	3.3	3.6	5.9 (2012)	7.49%
Hong Kong	7,2	5,97	5,98	78	76,5	76,7	43,1 (2012)	13,88%
Turin (Italy)	0,9	-	0,86	130,17	-	6,6	10,7 (2012)	8,02%

Tabla 3. Comparación del potencial fotovoltaico técnico estimado para Nueva York (USA), San Francisco (USA), Hong Kong y Turín. (Byrne, J., Taminiau, J., Kurdgelashvili, L., & Nam Kim, K, 2015).

Si hablamos de las ciudades españolas, un estudio realizado por E. Caamaño Martín y S. Díaz-Palacios Sisternes (2019) estima que la potencia fotovoltaica en las cubiertas de los edificios de la ciudad de Victoria sería suficiente para alcanzar el 100% de autosuficiencia neta de esta localidad (Tabla 4). Sin embargo, se hace necesaria la búsqueda de nuevos espacios que permitan complementar la generación fotovoltaica disponible en las cubiertas con otras instalaciones que aumenten la producción de electricidad de forma renovable para ciudades de mayor densidad urbana y de mayor consumo eléctrico.

<i>E. eléctrica consumida en la ciudad (GWh)</i>	<i>E. eléctrica neta generable en la ciudad (GWh)</i>	<i>E. eléctrica excedentaria en la ciudad (GWh)</i>
894	1140	246
<i>Autosuficiencia neta (%E. eléctrica consumida)</i>	<i>Autoconsumo fotovoltaico neto (%E. eléctrica neta generable)</i>	<i>Energía excedentaria (%E. neta generable)</i>
100	78	22

Tabla 4. Resultados anuales de producción eléctrica, consumo, balances y parámetros de autosuficiencia y autoconsumo en la ciudad de Vitoria-Gasteiz. ( E. Caamaño Martín, S. Díaz-Palacios Sisternes, 2019)

## Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

Por ello, se plantea en este trabajo la utilización de pérgolas fotovoltaicas para autoconsumo localizadas en espacio público como complemento a las instalaciones fotovoltaicas en tejado, ya que estas tienen la ventaja de poder cubrir demandas eléctricas mayores sin las limitaciones de espacio que se pueden producir en las cubiertas de los edificios cuando las demandas energéticas son mayores. En ciudades como Barcelona podemos encontrar hasta 12 pérgolas fotovoltaicas en actual funcionamiento, y se prevé la instalación de 10 pérgolas más, con el objetivo de duplicar la generación en espacio público, tal y como comentó Eloi Badía, concejal Presidencia, Agua y Energía del Ayuntamiento de Barcelona a *La Vanguardia* (2017):

*“Lo que buscamos es doblar la capacidad instalada de energías renovables en la ciudad. Las pérgolas son un elemento interesante en este sentido, porque permiten relacionarnos con el ámbito cotidiano y demostrar que en el espacio público también somos capaces de generar energías renovables”.*

Las pérgolas actuales tienen una potencia instalada de 752 kWp y generan 940 MWh anuales en espacio público y, de las 10 pérgolas previstas a instalar en los próximos años, ya hay 4 de ellas en construcción, estando las 6 restantes pendientes de licitación.

La utilización de estos espacios permite que hogares, comercios e industrias accedan a superficies adicionales de generación, valiéndose de áreas próximas a los puntos de consumo, y favorecería la creación de comunidades energéticas entre vecinos y comercios cercanos, que ahora podrían generar su propia electricidad con instalaciones en espacio público, aumentando el porcentaje de generación eléctrica con fuentes renovables y mejorando la sostenibilidad de la ciudad.

Si nos trasladamos a la ciudad de Valencia, podemos encontrar varios proyectos de autoconsumo que hacen uso del espacio público y cuyo fin es mejorar la sostenibilidad de la ciudad haciendo uso de la energía solar.

### *1.3.3.1 Proyectos piloto de autoconsumo en red: comunidades energéticas en Castellar-l’Oliveral.*

La fundación València Clima i Energía ha impulsado la primera comunidad energética renovable de la ciudad, que dará servicio a más de 40 familias. La instalación de autoconsumo compartido llevada a cabo generará energía suficiente para producir un ahorro medio en cada hogar de cerca del 25 por ciento del coste de la factura eléctrica de las personas usuarias asociadas, y provocará una reducción de emisiones de 47,7 toneladas de CO<sub>2</sub>. Además, esta fundación pretende formar más comunidades energéticas en otros barrios de la ciudad. (Oficina de l’Energia (2020)).

### *1.3.3.1 Uso del espacio público para generación fotovoltaica: Proyecto en el jardín de Morvedre.*

En este jardín se realizó un proyecto, actualmente en funcionamiento, de una pérgola fotovoltaica aislada de la red con almacenamiento para abastecer los consumos nocturnos de iluminación y la recarga de coches eléctricos del parque. La potencia instalada total es de 6kW, y supone la primera pérgola fotovoltaica instalada en espacio público de la ciudad. (Ayuntamiento de Valencia (2017)).

## Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

Asimismo, la ciudad ya cuenta con 4 nuevas pérgolas fotovoltaicas en la nueva plaza del mercado de Rojas Clemente (el Botànic), en el aparcamiento del mercado de Castilla (Tres Forques), en el jardín junto al Centro de Personas Mayores Arniches de la plaza de Miquel Adlert Noguerol (la Llum) y en el aparcamiento del mercado del Cabanyal. Además, se instalará próximamente otra pérgola en el polideportivo municipal de la Malva-rosa. En conjunto, se prevé un ahorro energético anual de 400 MWh y una reducción de la factura energética de más de 37.400 € (G.S. 2019).

A partir de estos antecedentes, existe gran interés por explorar todas las posibilidades que ofrece el espacio público en la ciudad de Valencia para la generación fotovoltaica para autoconsumo, acogiéndonos a la compensación por excedentes regulada por el Real Decreto 249/2019.

### **1.4 Legislación aplicable a las instalaciones propuestas.**

A continuación, se muestran las leyes y normativas aplicables a una instalación de pérgolas fotovoltaicas conectadas a red y ubicadas en espacio público, propuestas en este trabajo para el abastecimiento de instituciones públicas.

#### Seguridad y salud:

Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos laborales.

Real Decreto 1627/97 del 24 de octubre de 1997 por el que se establecen las Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud en las Obras de Construcción.

#### Instalación eléctrica:

Ley 54/1997 de 27 de noviembre del Sector Eléctrico (BOE no 285 de 28/11/1977)

Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto por el que se aprueba el Reglamento 6 Electrotécnico de baja tensión.

Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia.

Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial (BOE no 126, de 26/05/2007).

Real Decreto 244/2019. Autoconsumo de energía eléctrica con compensación por excedentes.

Pliego de condiciones técnicas de instalaciones conectadas a red del IDEA.

De las normativas aplicables al tipo de instalaciones que se proponen en este trabajo, es necesario destacar la relevancia del Real Decreto 244/2019 que regula las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. Esta normativa sustituye el Real Decreto 900/2015 en el que se establecía el famoso impuesto al sol (“peaje de respaldo”), y supuso un fuerte retroceso en la transición energética de España hacia el autoconsumo.

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

En esta nueva normativa, la cual ha impulsado las instalaciones de autoconsumo en España, se establecen dos modalidades de autoconsumo: sin excedentes y con excedentes. En las instalaciones sin excedentes es necesario un mecanismo anti-vertido que impida la inyección a red, mientras que para el autoconsumo con excedentes la energía sobrante generada es inyectada a la red de transporte y distribución.

Para obtener la mayor rentabilidad posible de la instalación, lo recomendable es que estas sean instalaciones de autoconsumo conectadas a red con excedentes acogidas a compensación. En esta modalidad, cuando no se consume la totalidad de la energía procedente de la instalación de autoconsumo, esta puede inyectarse a la red, donde la comercializadora eléctrica hará una compensación de la factura eléctrica con el excedente que se vierta a la red en cada periodo de facturación. La factura emitida por la comercializadora compensará el coste de la energía comprada a la red con la energía excedentaria vertida a la red valorada al precio medio del mercado horario menos el coste de los desvíos (para consumidores PVPC) o al precio acordado con la comercializadora, aplicándose posteriormente los beneficios a los que puedan acogerse (bono social) y los peajes e impuestos que procedan. En ningún caso el resultado podría ser negativo.

Para acogerse a esta modalidad, es necesario cumplir las siguientes condiciones:

- i. La fuente de energía primaria sea de origen renovable.
- ii. La potencia total de las instalaciones de producción asociadas no sea superior a 100 kW.
- iii. Si resultase necesario realizar un contrato de suministro para servicios auxiliares de producción, el consumidor haya suscrito un único contrato de suministro para el consumo asociado y para los consumos auxiliares de producción con una empresa comercializadora, según lo dispuesto en el artículo 9.2 del presente real decreto.
- iv. El consumidor y productor asociado hayan suscrito un contrato de compensación de excedentes de autoconsumo definido en el artículo 14 del Real Decreto 244/2019.
- v. La instalación de producción no tenga otorgado un régimen retributivo adicional o específico.

Todos aquellos casos de autoconsumo con excedentes que no cumplan con alguno de estos requisitos se acogerán a la modalidad con excedentes no acogida a compensación.

Además, todas las instalaciones de autoconsumo denominadas como instalaciones próximas a través de red, tanto la generación, como los consumos conectados en baja tensión deberán estar a una distancia inferior de 500 metros, tomando la distancia entre los equipos de medida en su proyección en planta.

Esta será la modalidad buscada de las instalaciones fotovoltaicas en espacio público que se proponen en este trabajo, ya que el excedente de energía vertido a la red será compensado en la factura eléctrica, favoreciendo considerablemente la rentabilidad de las instalaciones de autoconsumo tal y como se verá posteriormente.

## **1.5 Metodología general llevada a cabo en este trabajo.**

En este apartado se exponen los aspectos analizados y el procedimiento llevado a cabo en el capítulo II para estimar el potencial fotovoltaico generable mediante el uso de pérgolas fotovoltaicas conectadas a red y ubicadas espacio público en la ciudad de Valencia, con el fin de abastecer los consumos eléctricos del ayuntamiento, así como una breve introducción a las herramientas utilizadas en este trabajo.

### 1.5.1 Herramientas utilizadas.

#### *HOMER.*

HOMER (Hybrid Optimization Model for Multiple Energy Resources), es un software desarrollado por la empresa Homer Energy LLC, diseñado para analizar y optimizar diferentes sistemas eléctricos que incorporen o no una o más fuentes de energías renovables.

El programa funciona a partir de las curvas de demanda eléctrica introducidas y los datos climatológicos relacionados con la zona de aplicación, las fuentes de energía a contemplar y las características técnicas de los equipos introducidos. El software realiza simulaciones horarias de un año completo y obtiene los costes de todas las alternativas posibles. Para cada hora, calcula la potencia renovable disponible, la energía eléctrica generada y la compara con la demanda.

Utilizaremos esta herramienta para el análisis técnico-económico de una de las instalaciones de pérgolas fotovoltaicas propuestas en espacio público (Capítulo III), proporcionándonos costes de inversión y de operación que nos permitirán seleccionar el tipo de instalación en base a criterios económicos. El uso de este programa se encuentra detallado en el anexo 1, donde se especifican los datos introducidos. Cuantos más datos de partida se proporcionen al programa, las simulaciones que se realicen serán más ajustadas y por tanto los resultados finales serán más fiables. Utilizaremos la versión 2.68 de este programa.

#### *PVGIS.*

PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) es una herramienta online desarrollada por la Comisión Europea que nos permite obtener datos de radiación solar y temperaturas ambiente. Al introducir los datos referidos a la ubicación, ángulo de azimut y la inclinación a la que se encontrarán los paneles fotovoltaicos, se obtiene la irradiación global solar diaria por metro cuadrado de superficie.

Utilizaremos este programa para obtener datos de irradiación y temperaturas de las diferentes localizaciones de pérgolas fotovoltaicas propuestas.

## Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

*Software desarrollado por la Cátedra de la Transición Energética Urbana-UPV.*

La herramienta desarrollada por la Cátedra de la Transición Energética Urbana-UPV nos permite conocer las pérdidas por sombras producidas en una coordenada ubicada en la ciudad de Valencia y calcular el potencial fotovoltaico disponible en las cubiertas de edificios.

El software funciona al introducir las coordenadas de una ubicación. El programa recoge las alturas de los edificios y obstáculos cercanos a la coordenada introducida de una base de datos y obtiene la diferencia de alturas respecto a la coordenada introducida. A continuación, a partir de los datos catastrales de la ciudad de Valencia se asignan las alturas correspondientes a la geometría de los edificios en cuestión, y se recogen de la base de datos utilizada las alturas de los árboles y otros obstáculos cercanos a la coordenada como formas cilíndricas con sus respectivas alturas. Una vez sabidas las alturas y geometrías de los edificios y árboles cercanos a la coordenada, se calculan las pérdidas por sombras de la coordenada.

Para estimar el potencial fotovoltaico en una cubierta de un edificio, se define la geometría de las cubiertas a través de datos catastrales y, junto a los datos históricos de radiación de la ciudad combinados mediante herramientas SIG (Sistemas de Información Geográfica), se realiza el desarrollo de mapas de radiación solar urbanos. Finalmente, a partir del cálculo de radiación incidente sobre la coordenada, se estima la generación fotovoltaica de la superficie.

Con esta herramienta se han estimado las pérdidas por sombras de las ubicaciones de pérgolas fotovoltaicas propuestas y la generación fotovoltaica disponible en las cubiertas de los edificios administrados por el ayuntamiento. (E. Fuster Palop, J. Payá Herrero y C. Prades Gil. (2019)).

*CE3X.*

CE3X es un software de certificación energética utilizado para la obtención de la etiqueta de eficiencia energética, que indica la calificación asignada al edificio o vivienda introducido dentro de una escala de letras. Utilizaremos esta herramienta para la generación de patrones de sombras, que serán utilizados para comprobar el funcionamiento del software de la cátedra mencionado anteriormente y estimar las pérdidas por sombras de diferentes superficies.

*AUTOCAD.*

AUTOCAD es un programa de diseño asistido por computadora desarrollado por Autodesk, utilizado para dibujos 2D y modelado 3D. Utilizaremos este software para el dibujo de los planos necesarios en este trabajo.

*Google Earth.*

Es un programa informático desarrollado por la compañía Keyhole Inc, financiada por la Agencia Central de Inteligencia del Gobierno Federal de Estados Unidos, que muestra un globo terraqueo virtual basado en imágenes satelitales, fotografías aéreas, información geográfica proveniente de modelos de datos SIG de todo el mundo y modelos creados por computadora. La compañía fue comprada por Google en 2004. Se ha utilizado esta herramienta en su versión gratuita para buscar ubicaciones de pérgolas en la ciudad de Valencia, obtener sus coordenadas geográficas y extraer las alturas de edificios y otros objetos necesarios para el cálculo de sombras.



### 1.5.2 Procedimiento.

A continuación, se muestra el procedimiento llevado a cabo en el capítulo II de este trabajo para la estimación del potencial fotovoltaico disponible en espacio público de la ciudad de Valencia, con el fin de abastecer el mayor consumo eléctrico disponible de instituciones y fuentes administradas por el Ayuntamiento de Valencia mediante la implementación de pérgolas fotovoltaicas:

- En primer lugar, haciendo uso de un archivo Excel facilitado por el Ayuntamiento de Valencia, se han analizado los diferentes tipos de consumos eléctricos que son administrados por el ayuntamiento y se seleccionan aquellos que mejor se adaptan al autoabastecimiento con pérgolas fotovoltaicas conectadas a red, ya que los periodos de consumo que estos presentan influirá en la rentabilidad de la instalación.
- Una vez seleccionados los tipos de consumo a los que se pretende abastecer (instituciones públicas y fuentes), se localizan en Google Earth los consumos eléctricos más importantes en la ciudad de Valencia (+58.000 kWh anuales) con el fin de buscar espacios cercanos en suelo público que, a priori, estén libres de sombras y con condiciones favorables para la instalación de pérgolas fotovoltaicas, encontrándose en un radio de 500 metros de los consumos a abastecer, en cumplimiento del Real Decreto 244/2019, que regula las condiciones del autoconsumo de energía eléctrica.
- Una vez localizados los posibles espacios en los que implementar pérgolas fotovoltaicas, estas son clasificadas en 6 tipos distintos con el fin de averiguar qué localizaciones presentan mejores condiciones para su instalación. Para ello, utilizando un software desarrollado por la Cátedra de Transición Energética Urbana-UPV, se estiman las pérdidas por sombras de una muestra de cada tipo de espacio clasificado y se descartan aquellas con pérdidas de irradiación muy altas (+20%). A continuación, se realiza una estimación del potencial fotovoltaico máximo que se podría producir con las ubicaciones propuestas.
- Tras conocer la capacidad fotovoltaica de todas las ubicaciones propuestas, estas se asignan a las instituciones y fuentes seleccionadas para el autoconsumo de estas. Para ello, los consumos seleccionados deberán de estar en un radio de 500 metros de la localización, y se limita la capacidad de generación para el abastecimiento de estas instituciones hasta un máximo del 60% de su consumo eléctrico anual, ya que estas serán instalaciones de autoconsumo conectadas a red sin almacenamiento, por lo que no será rentable en términos económicos abastecer un porcentaje mayor de energía.
- Finalmente, con ayuda del software desarrollado por la cátedra, se estima el potencial fotovoltaico disponible en las cubiertas de las instituciones seleccionadas y se realiza un análisis de los resultados obtenidos. Una vez concluido el capítulo II, se procede a estudiar la viabilidad económica en mayor detalle de una de las ubicaciones de pérgolas fotovoltaicas propuestas.

## Capítulo 2. Potencial fotovoltaico en espacio público para abastecer consumos públicos.

Una vez justificadas las necesidades por las que ha sido realizado este trabajo, la normativa que aplicaremos y el procedimiento llevado a cabo, damos comienzo al capítulo II, donde se estudiará el potencial fotovoltaico disponible en espacio público para abastecer a instituciones públicas de la ciudad de Valencia.

En este capítulo se pretende estimar el potencial fotovoltaico disponible en espacio público en la ciudad de Valencia mediante la implementación de pérgolas fotovoltaicas, con el objetivo de abastecer los consumos eléctricos municipales de la ciudad. Este tipo de instalaciones favorecen la transición energética del territorio y reducen las emisiones GEI provocadas por el consumo eléctrico de la ciudad, ayudando a cumplir los objetivos marcados en el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima, por lo que se justifica la utilización del espacio público para este tipo de instalaciones, aportando además espacios de sombra aprovechables para el desarrollo de diferentes actividades recreativas.

En primer lugar, realizaremos un análisis de los consumos eléctricos del Ayuntamiento de Valencia y seleccionaremos aquellos que nos resulten más interesantes para abastecer con instalaciones de autoconsumo conectadas a red.

### **2.1 Consumos eléctricos del Ayuntamiento de Valencia.**

Refiriéndonos a los gastos públicos, en el año 2018 el consumo anual eléctrico del Ayuntamiento de Valencia fue de 92,35 GWh, suponiendo un coste de 14,49 millones de euros (Tabla 5). De este consumo, según la oficina de estadísticas del Ayuntamiento de Valencia (2019), casi el 41% de la electricidad consumida de los servicios públicos proviene de dependencias municipales y de colegios públicos (Figura 5).

	<b>Total</b>	<b>Alumbrado público, semáforos, fuentes y parques</b>	<b>Dependencias municipales</b>	<b>Colegios municipales</b>
<i>Consumo eléctrico (GWh)</i>	<i>92,35</i>	<i>54,81</i>	<i>30,83</i>	<i>6,71</i>
<i>Facturación (Millones de euros)</i>	<i>14,49</i>	<i>8,19</i>	<i>5,03</i>	<i>1,27</i>

Tabla 5. Consumo eléctrico anual del Ayuntamiento de Valencia. (Oficina de estadística Ayuntamiento de Valencia, 2019)

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

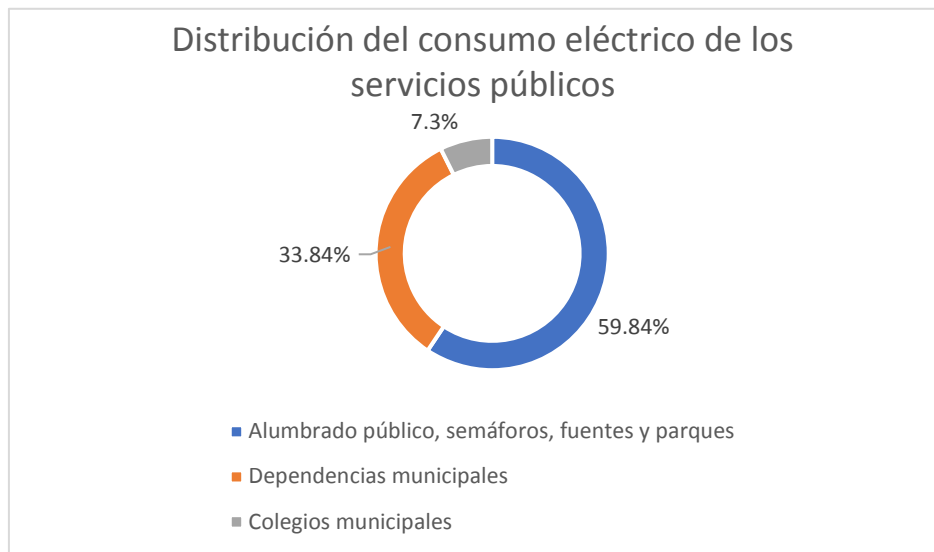


Figura 5. Distribución del consumo eléctrico Valencia 2018. (Oficina de estadística Ayuntamiento de Valencia, 2019).

De estos consumos eléctricos, nos interesará abastecer aquellos producidos por edificios municipales (dependencias y colegios) y fuentes, ya que los periodos de consumo eléctrico de estas instituciones coinciden con aquellos en los que las instalaciones fotovoltaicas generan más electricidad, mientras que los consumos producidos por iluminación se producen principalmente por la noche, cuando la generación fotovoltaica es nula. Al producirse los consumos eléctricos en el mismo periodo en el que se está generando, se reducen los excedentes de energía vertidos a red. Estos excedentes serán compensados, pero a un precio considerablemente menor que el pagado por consumir la misma energía, por lo que, en términos económicos, una instalación de autoconsumo será más rentable al abastecer consumos producidos en periodos de generación eléctrica.

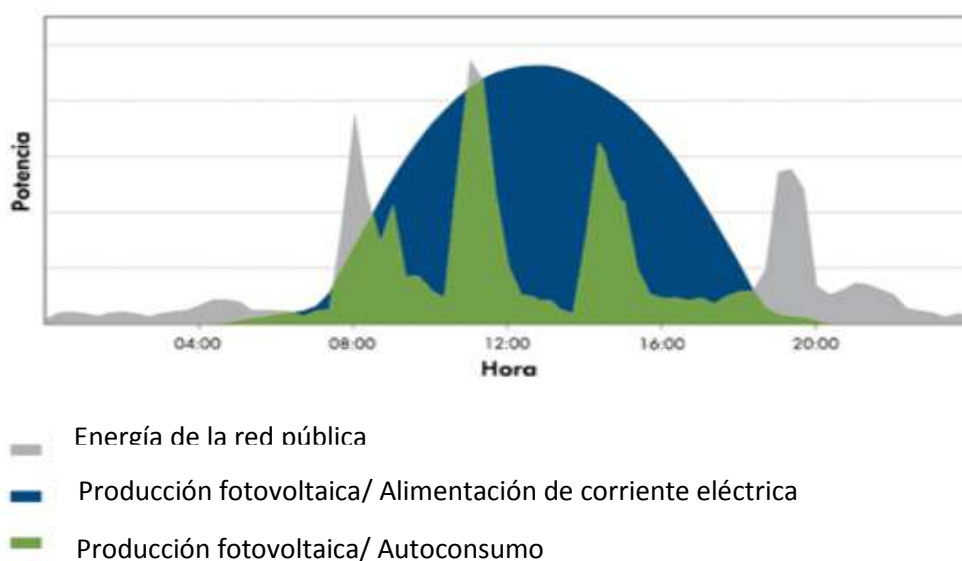


Figura 6. Perfil diario de una instalación fotovoltaica, sobre un perfil de consumo. (Eva Pijuan, 2013)

## Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

Sabiendo esto, consumos eléctricos del ayuntamiento que se buscarán abastecer con paneles fotovoltaicos serán aquellos pertenecientes a instituciones públicas tales como oficinas, colegios, centros de ocio, etc., y los consumos de las fuentes más importantes de la ciudad, ya que sus periodos de mayor actividad (horario laboral) coinciden con los periodos de generación fotovoltaica y además presentan consumos muy elevados que nos permitirá implementar instalaciones de mayor tamaño, reduciendo los costes por kW.

Para poder localizar estos consumos eléctricos y posteriormente buscar localizaciones en un radio de 500 metros en los que poder implementar pérgolas fotovoltaicas para su autoconsumo, haremos uso de un archivo Excel facilitado por el ayuntamiento en el que se encuentran los registros de todos consumos eléctricos municipales producidos en el año 2018.

### **2.2 Selección de los casos de estudio. Localización de edificios y fuentes públicas con mayores consumos.**

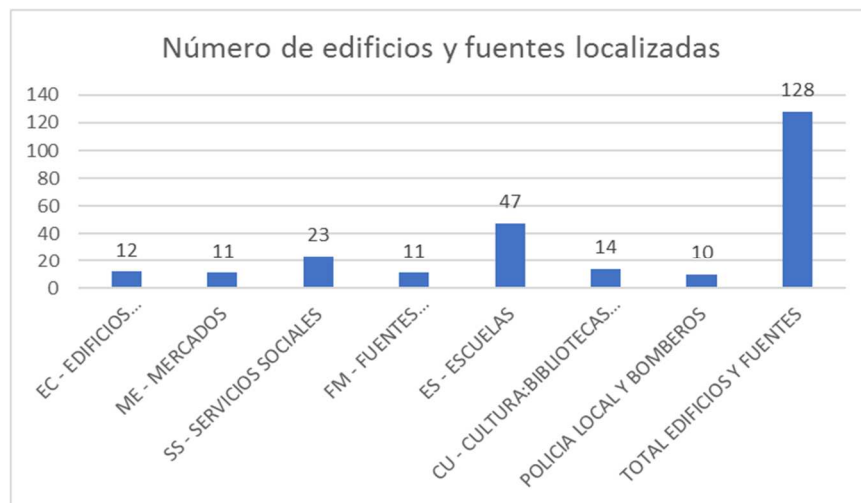
A partir de un archivo con los registros de los consumos eléctricos municipales facilitado por el Ayuntamiento de València se han localizado los edificios y fuentes monumentales que más electricidad consumieron durante el periodo de septiembre de 2017 hasta agosto de 2018 en la ciudad de Valencia. Se descartaron los consumos públicos producidos en iluminación (alumbrado público y semáforos), ventilación de tuneles y riegos de parques y jardines, debido a la distribución horaria de estos consumos, tal y como se mencionó con anterioridad. Para visualizar los consumos públicos seleccionados para el estudio, fueron añadidos a Google Earth (Figura 7). Estos han sido numerados según el consumo anual registrado, siendo la localización número 1 la de mayor gasto eléctrico localizado en este trabajo.



Figura 7. Ubicación de los edificios y fuentes públicas de Valencia con consumos más altos. (Google Earth).

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

A continuación se muestran los tipos de consumos públicos localizados y utilizados para el desarrollo de este trabajo (Figura 8).



EC: Edificios corporativos; ME: Mercados municipales; SS: Servicios sociales; FM: Fuentes monumentales; ES: Escuelas; CU-CULTURA: Bibliotecas y museos;

Figura 8. Distribución por tipos de los consumos eléctricos del Ayuntamiento de Valencia localizados en este trabajo

Los edificios y fuentes aquí localizados supusieron un consumo anual de 27.459 MWh . Esto es el 25,32% del consumo total de electricidad del Ayuntamiento de Valencia, y corresponde al 77% del consumo anual de edificios y fuentes administrados por el ayuntamiento en la ciudad(Figura 9). Todos los consumos seleccionados y localizados superaron los 58 MWh anuales de consumo eléctrico , siendo el edificio de oficinas Amadeo de Saboya el mayor consumo eléctrico del ayuntamiento con más de 3.627 MWh/año .

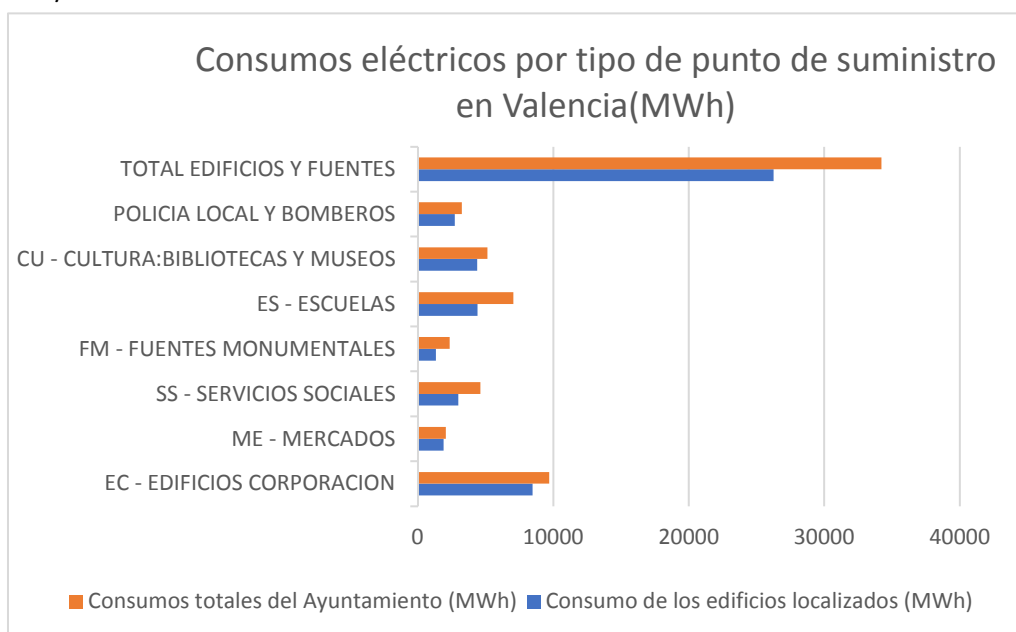


Figura 9. Consumos eléctricos totales del Ayuntamiento de Valencia(naranja) respecto a los consumos localizados para el estudio (azul).



### 2.3 Espacios públicos disponibles en Valencia. Criterios de ubicación de las pérgolas fotovoltaicas.

Una vez hallados y localizados en el mapa los puntos de consumo más importantes de la ciudad, se han localizado los espacios públicos cercanos a estos puntos aprovechables para la instalación de pérgolas fotovoltaicas. El objetivo será el de calcular el potencial fotovoltaico de estos espacios con la implementación de pérgolas fotovoltaicas, pudiendo utilizarse para abastecer consumos eléctricos del ayuntamiento en un principio, pero también pueden ser ubicaciones aptas para los consumos de comunidades energéticas de comercios, vecinos, etc., creadas en las cercanías.

Se han seleccionado las distintas ubicaciones en espacio público para la implementación de pérgolas fotovoltaicas teniendo en cuenta los siguientes puntos:

- Debido a que se quiere calcular el potencial fotovoltaico en espacio público para abastecer consumos del ayuntamiento, estas localizaciones deben estar a menos de 500 metros de al menos uno de los edificios del Ayuntamiento de València localizados anteriormente, para así cumplir la normativa de autoconsumo actual para instalaciones conectadas a red (Real Decreto 244/2019).
- La superficie debe de estar localizada en espacio público. Los terrenos vacíos en los que se permita edificar según el catastro online de Valencia son descartados (Figura 10).



CHP	Conjunto Histórico Protegido
EC	Educativo Cultural
EDA	Edificación Abierta
EL	Espacio Libre
ENS	Ensanche
GEC	Educativo Cultural Universitario
GEL	Espacio Libre. Sistema General
GFS	Defensa y Fuerzas de Seguridad
GIS	Infraestructura Básica y de Servicios
GLT	Área Litoral
GRV	Red Vial. Sistema General
GSP	Servicio Público. Sistema General
GSR	Servicios Urbanos. Sistema General
GTR	Transporte
IND	Industrias y Almacenes
IS	Infraestructura Básica y de Servicios
NPR	No Programado de Uso Dom. Residencial
PA	Protección Agrícola
PI	Protección de Infraestructuras
PM	Protección Ecológica y Medioambiental
PPR	Programado de Uso Dom. Residencial
RV	Red Vial
SP	Servicios Públicos
SR	Servicios Urbanos
TER	Terciario
UFA	Viviendas Unifamiliares

Figura 10. Planeamiento General de Valencia y leyenda. (Ayuntamiento de Valencia, s. f.)

## Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

- Estas localizaciones deben de estar libres de obstáculos que interfieran claramente con la instalación.
- Se descartan aquellas localizaciones en las que la presencia de sombras sea evidente.
- Se han tomado algunas superficies en terrenos vacíos marcados como libres según el plano de urbanismo del Ayuntamiento de València, ya que estos espacios suelen ser reconvertidos en plazas y parques. Estas plazas y parques pueden diseñados para la introducción de pérgolas fotovoltaicas. (Figura 10).
- Las localizaciones seleccionadas han de poder ser clasificadas en uno de los 6 distintos tipos de localizaciones mostrados más adelante.

No ha sido comprobada la disponibilidad de las ubicaciones y no todas ellas serán viables para la instalación de pérgolas por diferentes motivos. Las ubicaciones han sido tomadas con el fin de aprovechar la luz solar incidente, pudiendo pasar por alto diferentes problemas técnicos y/o urbanísticos que impidan la viabilidad de la instalación.

### **2.4 Tipologías del espacio público disponible.**

Como resultado, se han seleccionado 280 ubicaciones distintas en los distritos de la ciudad de Valencia. Se ha medido con ayuda de Google Earth su superficie y se han clasificado en 6 distintas tipologías de espacios, tal y como se muestran a continuación.

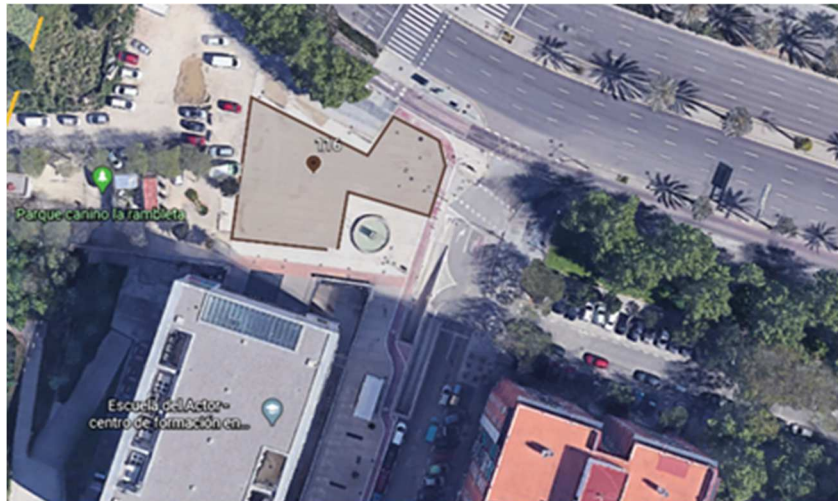
Esto se ha realizado con el objetivo de asignar un porcentaje de pérdidas por sombras a cada tipología de espacio y posteriormente calcular la generación fotovoltaica.

Las tipologías en las que se ha decidido separar las distintas ubicaciones de pérgolas son las mostradas a continuación. Para ello, se ha tenido en cuenta el entorno que rodea a estos espacios libres de sombras en un principio y las distribuciones de su superficie, designando 6 categorías en las que han sido clasificadas todas las ubicaciones de pérgolas propuestas.

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

2.4.1 Tipo I.

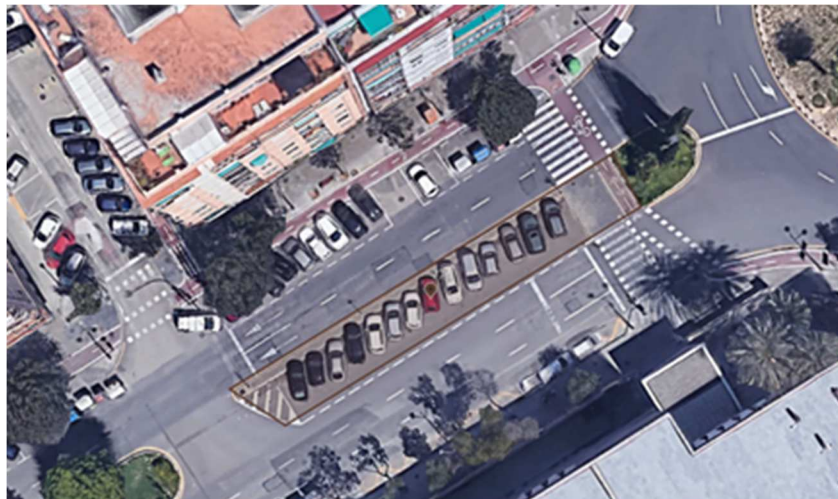
Áreas amplias que se encuentren en acera pública sin sombras de árboles y, en principio, sin sombras de edificios. Pueden ser aceras muy amplias sin árboles o plazas como la mostrada en la imagen (Figura 11).



*Figura 11. Ejemplo de localización Tipo I. (Google Earth)*

2.4.2 Tipo II.

Filas de aparcamiento y aceras estrechas sin sombras de árboles u otros objetos, lo suficientemente alejadas de edificios para que no se proyecten demasiadas sombras sobre ellas. Por ejemplo, filas de aparcamientos o aceras que dividan avenidas o estén en la cara sur de los edificios (Figura 12).



*Figura 12. Ejemplo de localización Tipo II. (Google Earth)*

Tanto las ubicaciones de Tipo I como Tipo II, no presentan árboles u obstáculos que proyecten sombras sobre estas. Solamente los edificios cercanos afectarán a la radiación incidente.



Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

2.4.3 Tipo III.

Áreas amplias sin obstáculos localizadas dentro de parques, generalmente rodeadas de árboles (Figura 13). También se incluyen en esta sección áreas grandes que se vean afectadas por sombras de árboles u obstáculos.

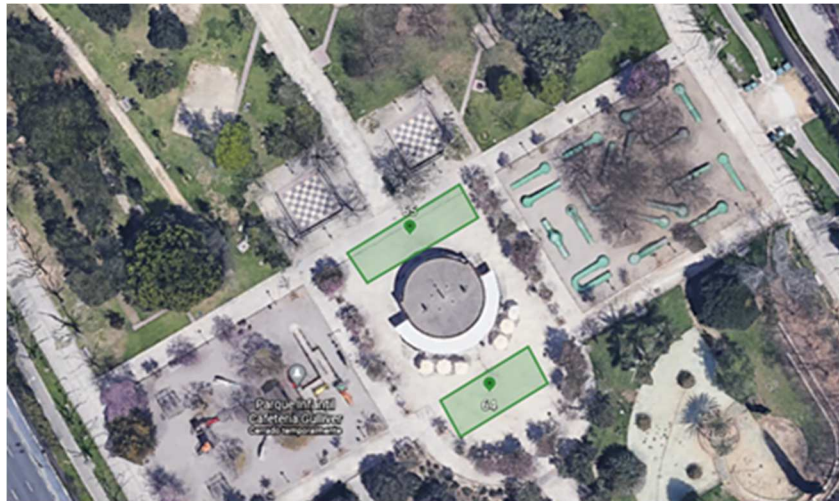


Figura 13. Ejemplo de localización Tipo III. (Google Earth)

2.4.4 Tipo IV.

Filas de aparcamiento, aceras estrechas o áreas pequeñas con sombras de árboles (Figura 14). Categoría general para localizaciones con sombras de árboles que no entren dentro del tipo III. Principalmente aceras para peatones con árboles alrededor y parkings pequeños con sombras de árboles.



Figura 14. Ejemplo de localización Tipo IV. (Google Earth)

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

2.4.5 Tipo V.

Parkings grandes y superficies muy amplias, que, en principio, se encuentren libres de sombras (Figura 15).



Figura 15. Ejemplo de localización Tipo V. (Google Earth)

2.4.6 Tipo VI.

Superficies muy cercanas a otros edificios o árboles-obstáculos situados al este-oeste de la pérgola (Figura 16). Sus sombras provocarán pérdidas por sombra considerables durante las primeras y/o últimas horas de sol.



Figura 16. Ejemplo de localización Tipo VI. (Google Earth)

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

Todas las 280 ubicaciones han sido clasificadas en uno de estos 6 tipos de espacios. A continuación, se muestra una tabla resumen con las tipologías de espacios y sus características:

<b>Ubicaciones</b>	<b>Descripción</b>	<b>Sombras</b>	<b>Nº de ubicaciones</b>	<b>Superficie media (m2)</b>	<b>%P. sombras</b>
Tipo I	Áreas libres de obstáculos localizadas en acera pública.	Solo sombras producidas por edificios cercanos.	57	466,90	5,76%
Tipo II	Áreas estrechas como filas de aparcamientos o aceras peatonales.	Sin la presencia de árboles u otros obstáculos.	49	523,10	8,76%
Tipo III	Áreas amplias localizadas dentro de parques y jardines o superficies con sombras incidentes por árboles cercanos	Sombras proyectadas por obstáculos, árboles y edificios cercanos	48	387,73	11,34%
Tipo IV	Categoría designada para superficies de menor tamaño que las de tipo III, con sombras incidentes producidas por árboles y/o obstáculos		47	296,75	12,59%
Tipo V	Superficies muy amplias como parkings al aire libre, áreas de recintos, etc. En principio libres de sombras en gran parte de su superficie	Solamente sombras producidas por edificios cercanos.	48	803,23	5,29%
Tipo VI	Áreas estrechas como filas de aparcamientos o aceras peatonales con edificios al este-oeste de la instalación que producirán sombras durante las primeras y/o últimas horas solares	Sin presencia de árboles u obstáculos	31	554,22	22,20%

Tabla 6. Resumen de las tipologías de espacios clasificados.

Las pérdidas por sombras de cada tipo de espacio han sido calculadas posteriormente en el siguiente apartado, haciendo uso de un software desarrollado por la Cátedra de Transición Energética Urbana-UPV



## 2.5 Pérdidas por sombras del espacio público utilizando datos LIDAR.

Una vez fueron clasificadas todas las superficies en sus respectivos grupos, si se quiere averiguar la producción fotovoltaica de las 280 ubicaciones seleccionadas, será necesario estimar las pérdidas por sombras incidentes sobre las superficies en espacio público propuestas. Para ello, se estimó el porcentaje de pérdidas por sombras de edificios y otros obstáculos de una muestra representativa de cada tipo de espacio en las que fueron clasificadas estas superficies con ayuda de un programa desarrollado por la Cátedra de Transición Energética Urbana UPV.

Este software calcula las pérdidas de una coordenada introducida a partir del uso de datos LIDAR (light detection and ranging), una técnica de teledetección óptica que utiliza luz de láser para

muestrear la superficie terrestre y obtener un mapa de puntos en los que cada uno de ellos tiene una altura asociada, conformando una nube de puntos alrededor de la coordenada introducida. Esta es una técnica utilizada principalmente en aplicaciones de representación cartográfica láser aéreas.

Los datos LIDAR utilizados para la estimación de sombras corresponden a los proporcionados por el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) y con estos datos se define la geometría y distribución de los edificios sobre el terreno, asignándose estas alturas a los datos catastrales procedentes de la Sede Electrónica del Catastro.

Con esta técnica de datos LIDAR también se recogen las alturas de los árboles y obstáculos cercanos a la coordenada introducida, asociándoles una forma cilíndrica a estos.

A partir de estos datos, el programa desarrollado por la cátedra genera un horizonte de los obstáculos que afectan a la coordenada introducida y calcula las sombras proyectadas en la coordenada introducida.

A continuación, se muestra un ejemplo visual del funcionamiento de este programa, donde podemos observar las imágenes aéreas de la coordenada central de una de las ubicaciones propuestas junto a los obstáculos que el programa ha sido capaz de detectar para el cálculo de sombras. A partir de estos, se genera el horizonte de obstáculos de la coordenada y se calculan las pérdidas por sombras de la ubicación.

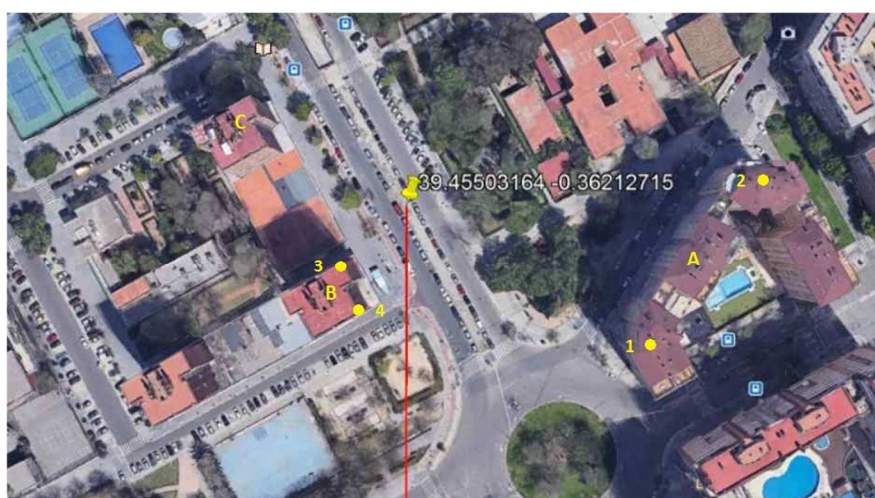
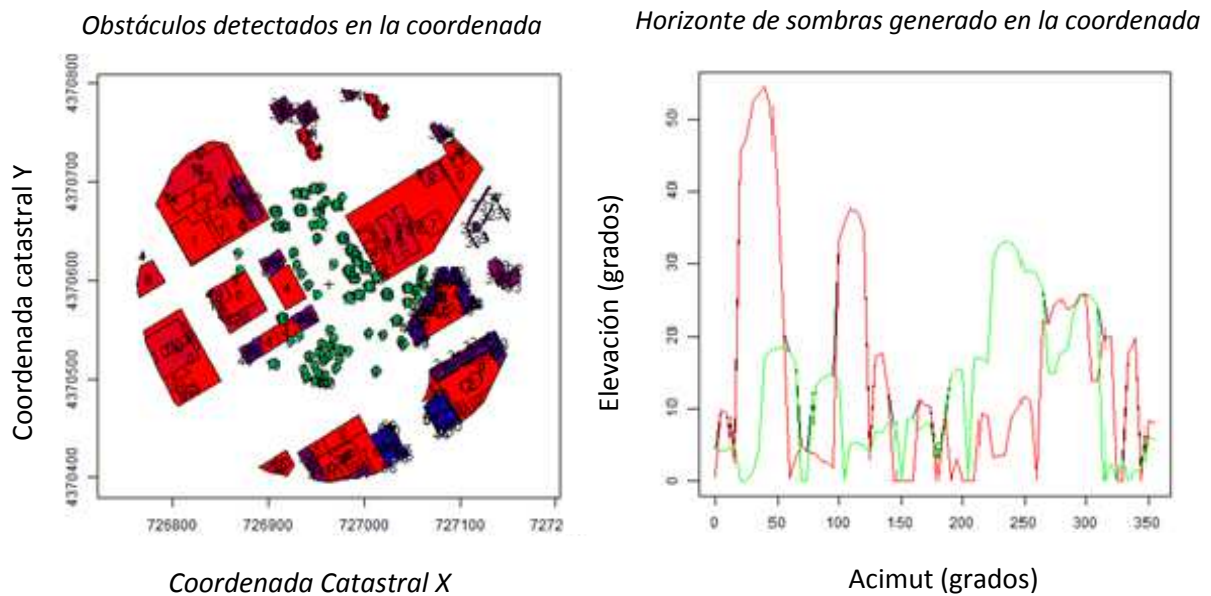


Figura 17. Imagen aérea de la coordenada a calcular. (Google Earth)

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

Al introducir esta coordenada (39.45503164; -0.3212715), el programa asocia a los edificios y árboles presentes sus alturas correspondientes, que coinciden con las alturas estimadas por Google Earth. Podemos observar en la Figura 18 izquierda la detección de los árboles cercanos a la coordenada en color verde y la presencia de las superficies catastrales en color rojo, azul y violeta, correspondiendo el color azul a edificios de mayor altura, y el color rojo a alturas más bajas.

A partir de estos datos, se calcula el horizonte de sombras de los edificios sobre la coordenada introducida (Figura 18 derecha rojo), y el horizonte provocado por los árboles detectados (Figura 18-derecha verde).



*Nota. (El horizonte de sombras generado de color verde corresponde al horizonte producido por los árboles cercanos, detectados en la imagen izquierda como circunferencias verdes.*

*El horizonte de sombras generado de color rojo corresponde al producido por los edificios cercanos, detectados en la imagen izquierda como polígonos que varían del color rojo al violeta según su altitud.)*

*Figura 18. Obstáculos detectados y horizonte de sombras generado para la coordenada 39.45503164; -0.3212715, (Software desarrollado por E. Fuster J. Payá Herrero y C. Prades Gil. (2019)).*

Una vez obtenido el horizonte de obstáculos sobre la coordenada, se introducen en la trayectoria solar junto a las pérdidas provocadas por la inclinación de un panel fotovoltaico (35º) y se calculan las pérdidas por sombras (Figura 19).

## Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

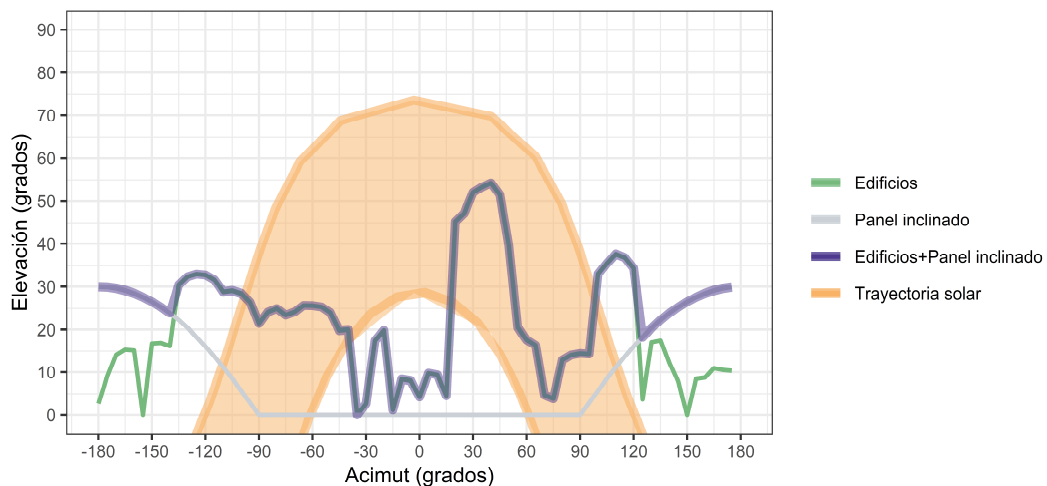


Figura 19. Trayectoria solar y horizonte generado para la coordenada 39.45503164; -0.3212715. (Software desarrollado por E. Fuster J. Payá Herrero y C. Prades Gil. (2019)).

El porcentaje de pérdidas por sombras calculado por el programa, a partir del diagrama solar generado para esta coordenada ha sido de:

$$\text{Perdidas}(\%) = 14,42$$

### 2.5.1 Comprobación manual del cálculo de sombras.

Como comprobación del correcto funcionamiento de esta herramienta, se ha procedido a realizar el cálculo manual para la misma coordenada introducida en el programa (Figura 20):

Para realizar el cálculo de sombras de la coordenada, utilizaremos el método recomendado por el Documento Básico de Ahorro de Energía Sección HE 5 (IDAE (2017)), siguiendo los pasos mostrados a continuación:

Los edificios que proyectarán sombras sobre nuestro punto han sido marcados en la siguiente imagen (Figura 20) como A, y B. Mediante el uso de relaciones trigonométricas de mediciones obtenidas a partir de Google Earth Pro, se obtienen los ángulos de acimut ( $\alpha$ ) y elevación solar ( $\beta$ ) de los puntos superiores del perfil más cercano de cada edificio (puntos amarillos de la figura 20).

Estos datos serán introducidos en el programa CE3X, con el que se obtendrá el patrón de sombras correspondiente sobre el que se estimarán las pérdidas por sombras de la coordenada.

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia



Figura 20. Imagen aérea de la coordenada a calcular y los puntos de referencia de los edificios. (Google earth)

Para introducir las sombras de los árboles en el programa, debido a la complejidad que conllevaría realizar el cálculo para cada árbol presente, se ha unificado la superficie continua de árboles y se ha supuesto en toda esta superficie una altura media, quedando de la siguiente manera (Figura 21).



Figura 21. Áreas de los árboles que han sido unificadas para el cálculo manual de sombras. (Google earth)

Una vez averiguados los datos necesarios de azimut ( $\alpha$ ), elevación solar ( $\beta$ ) y altura de los puntos superiores del perfil más cercano de cada edificio y de la superficie de árboles (Tabla 7), se han introducido los datos en el programa C3EX, que nos dibujará el patrón de sombras en el diagrama de trayectoria solar asignado para la península.



Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

Este cálculo se ha realizado con el fin de comprobar el funcionamiento del programa con el cálculo de sombras con presencia de árboles u otros obstáculos. Al hacer la aproximación mencionada con las sombras de los árboles, el porcentaje de pérdidas por sombras calculado manualmente será mayor que el real. Aun así, nos servirá como comparación con el estimado por el programa.

	Edificio A		Edificio B		Árboles A		Árboles B	
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7	Punto 8
Altura (m)	51	51	43	43	14	14	8	8
Acimut ( $\alpha$ )	-60.72	-93.56	45.78	18	-61.87	-175.53	134.71	49.48
Elevación solar ( $\beta$ )	30.81	26.44	62.29	52.71	19.51	15.96	9.86	29.8

Tabla 7. Datos introducidos en CE3X para el cálculo de sombras de la coordenada.

Estimaremos las pérdidas producidas a partir de las tablas del apéndice del Documento Básico de Ahorro de Energía HE 5 (IDAE (2017)). Para ello, escogeremos la tabla del apéndice más parecida a nuestro caso según inclinación y orientación del panel. Como se quiere comparar los resultados con los obtenidos por el programa mencionado anteriormente, orientaremos los paneles al sur ( $\alpha=0^\circ$ ) con una inclinación ( $\beta$ ) de  $35^\circ$ . A continuación, se muestran las tablas seleccionadas y el diagrama solar generado en CE3X para la coordenada introducida:

	$\beta=35^\circ ; \alpha=0^\circ$			
	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,01	0,12	0,44
9	0,13	0,41	0,62	1,49
7	1,00	0,95	1,27	2,76
5	1,84	1,50	1,83	3,87
3	2,70	1,88	2,21	4,67
1	3,17	2,12	2,43	5,04
2	3,17	2,12	2,33	4,99
4	2,70	1,89	2,01	4,46
6	1,79	1,51	1,65	3,63
8	0,98	0,99	1,08	2,55
10	0,11	0,42	0,52	1,33
12	0,00	0,02	0,10	0,40
14	0,00	0,00	0,00	0,02

Tabla 8. Tabla de referencia. (D.B HE5. IDAE, 2017)

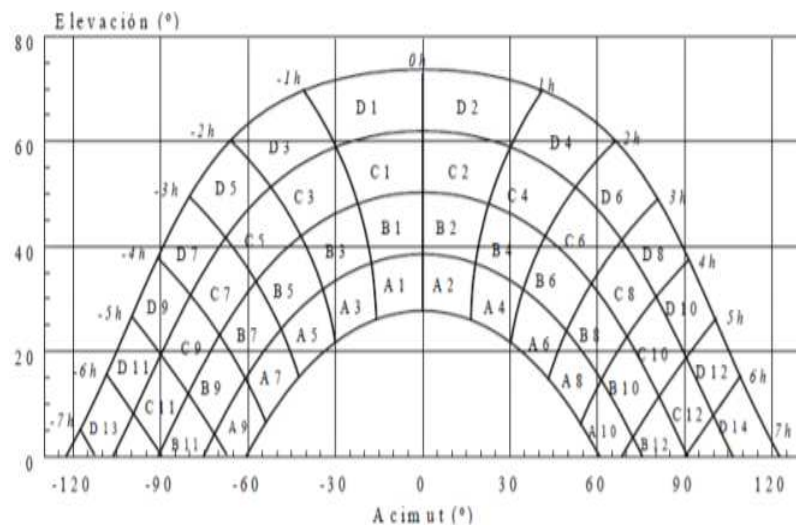


Figura 22. Diagrama de trayectoria solar para la península. (D.B HE5. IDAE, 2017)



Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

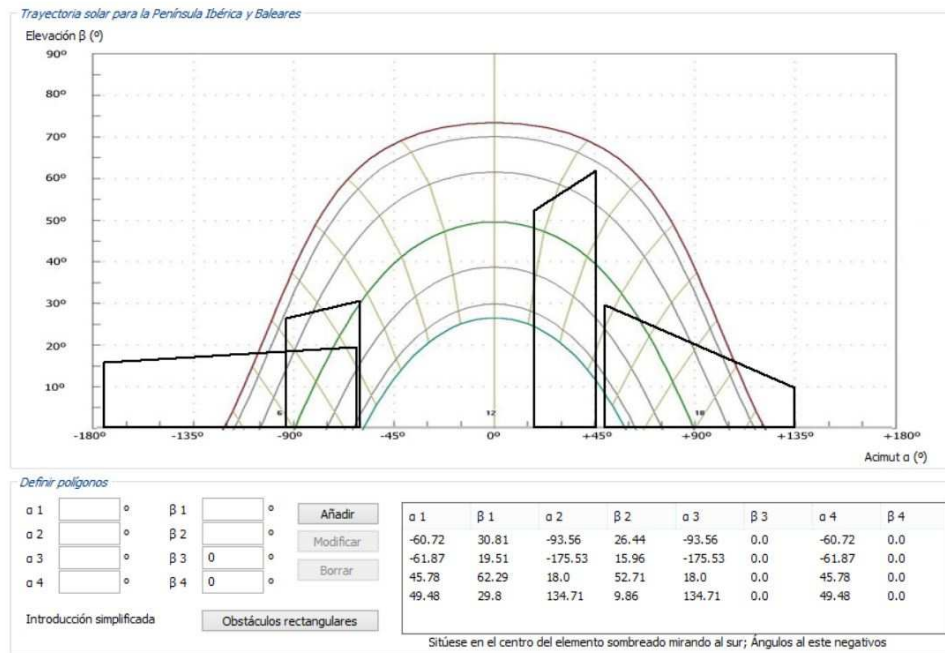


Figura 23. Pérdidas por sombras de la coordenada en el diagrama solar. (CE3X)

Seguindo las indicaciones del Documento Básico HE Ahorro de Energía, asignamos un valor de [0, 0.25, 0.5, 0.75, 1] a las porciones que resulten total o parcialmente ocultas por los patrones de sombras representados y sumamos sus contribuciones, siendo esta el porcentaje total de pérdidas por sombras. Finalmente, el porcentaje de pérdidas por sombras quedará como:

$$\begin{aligned}
 \text{Pérdidas}(\%) = & B11 + B9 + 0.75 * A9 + C11 + D13 + 0.5 * D9 + 0.5 * D7 + 0.25 * C7 + 0.5 \\
 & * B7 + D14 + C12 + B12 + 0.5 * D12 + 0.75 * C10 + B10 + A10 + 0.75 * A8 \\
 & + 0.75 * B8 + A6 + 0.5 * B6 + 0.25 * D4 + C4 + B4 + A4
 \end{aligned}$$

$$\text{Pérdidas}(\%) = 17,17\%$$

El porcentaje de pérdidas calculado difiere un 2,75% con el obtenido con el programa. Esta diferencia se debe, sobre todo, a las aproximaciones utilizadas para el cálculo manual de sombras de los árboles. Por tanto, consideramos que los porcentajes de pérdidas obtenidos con el programa son semejantes a los reales.

La utilización de un factor de pérdidas u otro tendrá sus repercusiones en los cálculos finales, pero no serán cambios sustanciales cuando no existan árboles u otros obstáculos alrededor que incidan sombras sobre nuestra localización.

Coordenada introducida		Pérdidas estimadas por el programa (%)	Pérdidas estimadas manualmente (%)	Error(%)
39.45503164	-0.3212715	14,42	17,17	-2,75

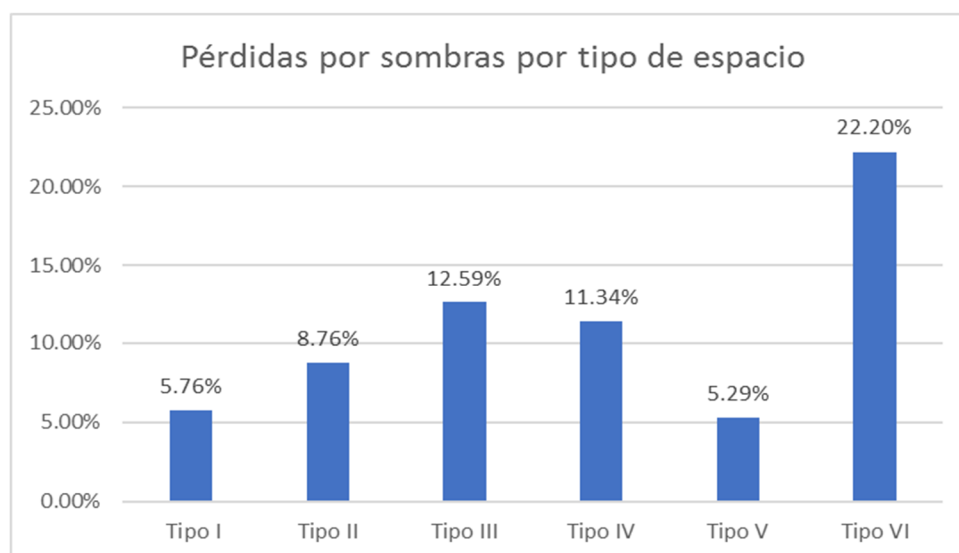
Tabla 9. Comparación de las pérdidas por sombras estimadas manualmente y las calculadas por el programa.

### 2.5.2 Aplicación del cálculo de sombras a las ubicaciones seleccionadas.

Una vez comprobado el correcto funcionamiento del cálculo de sombras con datos LIDAR, se han tomado las coordenadas centrales de las superficies localizadas en la ciudad de Valencia propuestas para la implementación de pérgolas fotovoltaicas y, utilizando el programa anteriormente mencionado, se han calculado las pérdidas por sombras de una muestra de cada tipo de superficies clasificadas. Las simulaciones del programa se realizan a partir de una coordenada, donde se simularán las pérdidas por sombra y este será aplicado a toda la superficie.

Para el cálculo, se considera un ángulo de incidencia sobre unos paneles inclinados 30º y una altura de las pérgolas de 3 metros. Estos resultados serán utilizados de modo orientativo para posteriormente estimar la generación fotovoltaica en espacio público de la ciudad, donde se aplicará el porcentaje de sombras estimado según el tipo de ubicación al que ha sido clasificado.

Las pérdidas por sombras estimadas con el programa para cada muestra de los tipos de ubicación han sido las siguientes (Figura 24).



*Figura 24. Pérdidas por sombras estimadas para cada tipología de espacio clasificada.*

Las superficies clasificadas como I y V son las que menos proyecciones de sombras reciben, como era de esperar. Estas junto a las de tipo II son las más adecuadas para aprovechar la energía solar incidente. El límite máximo establecido por el pliego de condiciones técnicas de instalaciones conectadas a red (IDAE(2011)) para las pérdidas producidas por sombras en instalaciones de autoconsumo es del 10% para casos generales y hasta un 20% para casos de integración arquitectónica, por lo que aquellas localizaciones con edificios al este-oeste (Tipo VI) que proyecten sombras no serán recomendables para la implementación de pérgolas fotovoltaicas.

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

	<b>Orientación e inclinación (OI)</b>	<b>Sombras (S)</b>	<b>Total (OI+S)</b>
<i>General</i>	10%	10%	15%
<i>Superposición</i>	20%	15%	30%
<i>Integración arquitectónica</i>	40%	20%	50%

Tabla 10. Límite de pérdidas establecido para una instalación fotovoltaica. (Pliego de condiciones técnicas de instalaciones conectadas a red. (IDAE), 2011)

Aquellas con presencia de árboles y obstáculos (Tipo III y Tipo IV) pueden ser aprovechables. Podemos observar que para las localizaciones amplias dentro de parques (Tipo III) se han estimado mayores pérdidas por sombras respecto a superficies menores con sombras incidentes por árboles (Tipo IV). Esto es debido a que en las superficies clasificadas como tipo IV se han incluido todas las superficies con sombras por árboles que no se correspondían a las de tipo III.

Mientras que las superficies de tipo III se encuentran principalmente dentro de parques y rodeadas de árboles, hay superficies clasificadas como tipo IV que presentan uno o dos árboles que inciden sombras, por lo que las sombras incidentes estimadas son menores respecto a una localización dentro de un parque.

Los datos estimados solo pueden ser usados como orientativos. Al igual que hay superficies de tipo I con pérdidas por sombras considerables (+10%), hay otras de tipo IV con pérdidas que podrían considerarse despreciables (2%), por lo que no se deberían descartar las áreas disponibles por el tipo al que se ha clasificado, aunque estas sigan una tendencia a los valores mostrados en la Figura 24. Estos cálculos se han utilizado con el fin de aproximar la generación fotovoltaica en espacio público de la ciudad de Valencia sin tener que realizar los cálculos de pérdidas por sombras para todas las áreas localizadas. Para los cálculos posteriores, utilizaremos los porcentajes de pérdidas por sombras calculados para cada tipo de espacio.

## **2.6 Potencial de generación fotovoltaica en espacio público.**

Una vez estimadas las pérdidas por sombras de las ubicaciones seleccionadas, se procederá a realizar el cálculo de la generación fotovoltaica anual en espacio público a partir de la Hora Solar Pico (HSP) incidente.

Para ello, se harán uso de las HSP obtenidas de PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System), una herramienta desarrollada en el Centro Común de Investigación de la Comisión Europea (JRC) que nos proporciona datos de las irradiaciones solares en un punto concreto y a una inclinación de los paneles determinada.

La HSP se define como la energía por unidad de superficie que se recibiría con una hipotética irradiancia solar constante de 1000W/m<sup>2</sup>. Esta unidad es frecuentemente utilizada para realizar cálculos fotovoltaicos. Una HSP es igual a 1kWh/m<sup>2</sup>, por lo cual, si en una localización se tienen 4HSP por día, esto es equivalente a decir que se producen 4 horas de sol en las que se está transmitiendo 1000W/m<sup>2</sup>.

Realmente no se están produciendo 4 horas de sol de 1000W/m<sup>2</sup> durante ese periodo, ya que la irradiación va variando según la hora solar (alcanzando su máximo en el mediodía solar) y habrán más horas de sol durante el día, pero es una aproximación buena para estimar la generación fotovoltaica (Figura 25).

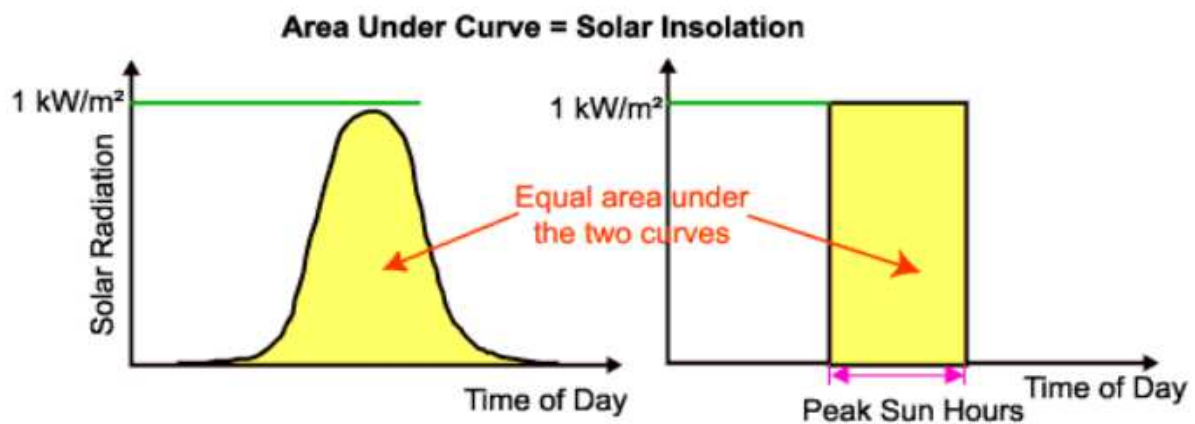


Figura 25. Concepto gráfico de la unidad HSP. (Christiana Honsberg y Stuart Bowden, s. f.)

Para el cálculo de la generación fotovoltaica mostrado a continuación se han utilizado valores generales debido a la existencia de una gran variedad de paneles, inversores y otros elementos de las instalaciones fotovoltaicas con diferentes parámetros y rendimientos.

Para averiguar la generación, haremos uso de los siguientes términos:

- Rendimiento del módulo fotovoltaico ( $\eta_{FV}$ ). En base a la eficiencia actual de los paneles fotovoltaicos utilizados para instalaciones fotovoltaicas, se ha considerado un valor en condiciones estándar (1.5 AM, 1000W/m<sup>2</sup> y 25°C) del 18%.
- Eficiencia de la instalación o performance ratio (PR). En este valor se tienen en cuenta todas las pérdidas de potencia producidas en la instalación fotovoltaica (inversores, cableado, suciedad, etc). Tomaremos como valor estándar PR=0.8

Sabiendo las HSP anuales en cada pérgola según su localización geográfica (paneles orientados al sur y con una inclinación de 35°) obtenidas de PVGIS y las pérdidas por sombras estimadas para cada tipología de espacio clasificada, el potencial fotovoltaico por m<sup>2</sup> para cada ubicación será de:

$$Generación_i(kWh/m^2) = HSP_i * \eta_{fv}(0.18) * PR(0.8) * (1 - \eta_{sombras,i})$$

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

Finalmente, considerando una superficie efectiva de las ubicaciones igual al 50% de su superficie total (S), la generación fotovoltaica anual ( $E_{\text{útil}}$ ) estimada para cada instalación fotovoltaica es:

$$E_{\text{útil}} = S_{\text{efectiva},i}(\text{m}^2) * \text{Generación}_i \left( \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right)$$

Con esto, se ha procedido a averiguar la producción anual de las 280 pérgolas fotovoltaicas propuestas. A continuación, se muestra la producción fotovoltaica anual estimada por distritos de la ciudad junto a los consumos públicos de los edificios y fuentes seleccionados con anterioridad (+58MWh/año) (Figura 26).

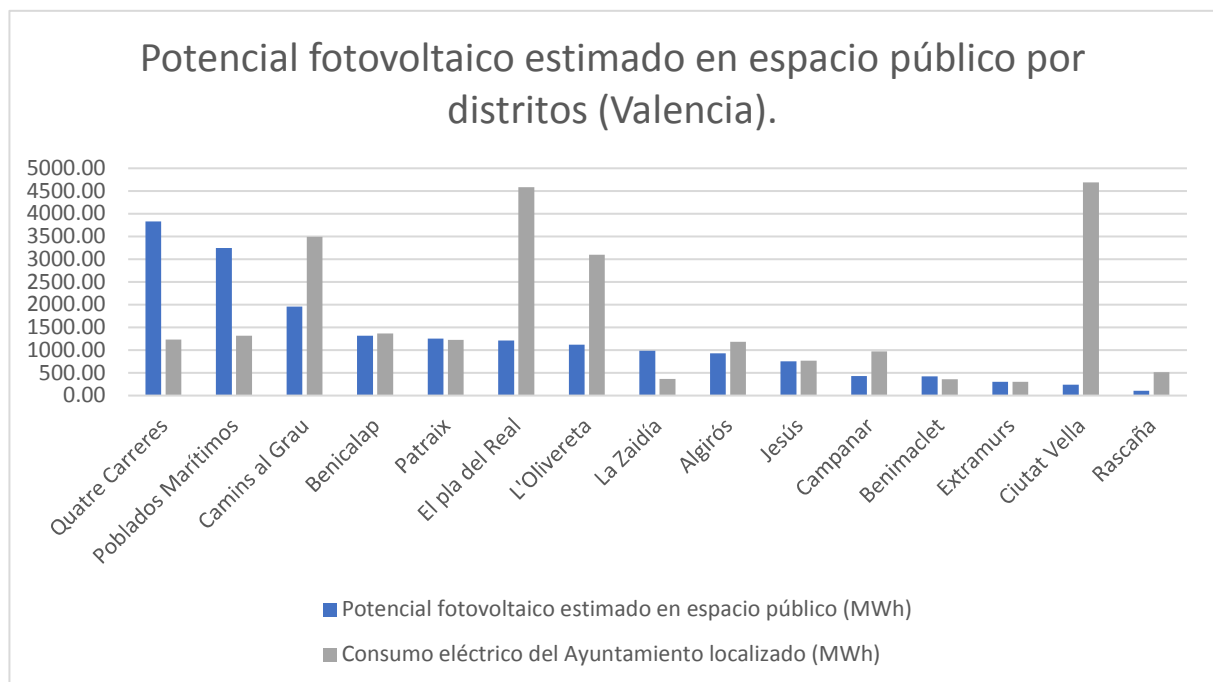


Figura 26. Generación fotovoltaica anual estimada con pérgolas fotovoltaicas para cada distrito y consumos eléctricos anuales de instituciones públicas y fuentes localizadas en este trabajo por distritos (Valencia).

Con las ubicaciones seleccionadas, se ha estimado una generación eléctrica de más de 18.438 MWh/año mediante pérgolas fotovoltaicas localizadas en espacio público.

La implementación de las pérgolas es más fácil de realizar en los barrios y distritos que se encuentran en las afueras de la ciudad, mientras que distritos como Ciutat Vella, Ensanche o Extramurs, debido a su alta densidad urbana, resulta mucho más complejo encontrar localizaciones aptas, por lo que no son distritos recomendables para este tipo de instalaciones.

La integración arquitectónica de estas instalaciones resultaría ideal en parques y jardines que vayan a ser construidos o renovados en un futuro o donde no suponga grandes modificaciones y puedan ser integrados con relativa facilidad, aportando espacios de sombra y reduciendo la factura eléctrica del ayuntamiento. Este tipo de instalaciones pueden utilizarse tanto para abastecer a instituciones públicas como para la creación de comunidades energéticas para que vecinos y asociaciones puedan generar su propia electricidad.

## **2.7 Estimación del autoconsumo municipal.**

Una vez sabemos el potencial fotovoltaico de cada localización de pérgolas fotovoltaicas propuestas, asignamos la producción estimada de estos espacios a los edificios y fuentes del ayuntamiento ubicados anteriormente. Para ello se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se dará preferencia de abastecimiento a los edificios de mayor consumo eléctrico en aquellos casos donde una misma ubicación pueda alimentar a varios consumos públicos y su capacidad no sea lo suficientemente grande para abastecer a ambos (las ubicaciones de las pérgolas fotovoltaicas conectadas a red y los puntos de consumo deben de estar en un radio inferior de 500 metros (Real Decreto 249/2019)).
- Se limitará la generación fotovoltaica para cada consumo hasta llegar a un máximo del 60% del consumo total anual del edificio, ya que estas serán instalaciones de autoconsumo conectadas a red sin almacenamiento, por lo que no se abastecerá el 100% del consumo eléctrico en ninguno de los casos, aunque la capacidad fotovoltaica en espacio público para el edificio sea suficiente.

Como resultado, se ha calculado que se podrían generar más de 8.752 MWh/año para el autoconsumo de edificios públicos, sin tener en cuenta la generación fotovoltaica disponible en las cubiertas de los edificios. El 65% de las instituciones públicas tomadas para este estudio tiene capacidad suficiente para realizar instalaciones de autoconsumo en espacio público que produzcan al menos el 60% de su consumo eléctrico anual. Esta generación supondría el 33% del consumo anual de las instituciones públicas localizadas anteriormente y conllevaría una reducción de 2897 Toneladas de CO2 anuales, según los factores propuestos por los Ministerios de Industria, Energía y Turismo, y el Ministerio de Fomento (2016)):

Como podemos ver, las pérgolas fotovoltaicas ubicadas en espacio público nos ofrecen un potencial enorme y son una gran opción para aquellas instituciones en las que no sean posible utilizar las cubiertas para instalar paneles solares para autoconsumo, o la creación de comunidades energéticas entre vecinos y asociaciones cercanas para que puedan generar su propia electricidad.

## **2.8 Potencial fotovoltaico en las cubiertas.**

Además del potencial fotovoltaico disponible en el espacio público de la ciudad, se debe de tener en cuenta la generación fotovoltaica disponible en las cubiertas de los edificios a los que se quiere abastecer seleccionados con anterioridad. Estas instalaciones ubicadas en los tejados deben de ser priorizadas respecto a las ubicadas en espacio público, siempre que sea posible y se presenten condiciones favorables para ello (buena orientación, bajo porcentaje de sombras, disponibilidad suficiente de cubierta, etc. ), ya que, tal y como se verá más adelante, las instalaciones en espacio público requerirán de estructuras sobre las que instalar los paneles solares (pérgolas), las cuales tendrán un coste asociado que afectarán a la rentabilidad de la instalación.

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

Para estimar el potencial fotovoltaico disponible en las cubiertas de los edificios seleccionados, se utilizará un programa informático desarrollado por la Cátedra de Transición Energética Las Naves-UPV (E. Fuster J. Payá Herrero y C. Prades Gil. (2019)). Este programa calcula la radiación global anual por unidad de superficie (kWh/m<sup>2</sup>) tomando como referencia la radiación global anual incidente en un plano inclinado que proporciona el programa SAM (System Model Advisor desarrollado por NREL), y estima las pérdidas por sombras de la cubierta de manera similar a la utilizada para la estimación de las sombras para espacios públicos, haciendo uso de datos LIDAR y asociando las alturas al catastro online de la ciudad para posteriormente generar un horizonte de los obstáculos incidentes y estimar las pérdidas por sombras.

Para el uso de este software, es necesario introducir en el programa una coordenada geográfica de la cubierta del edificio en cuestión, sobre la que se estiman las pérdidas y se toma la radiación incidente. Esta coordenada estará asignada a un edificio registrado en el catastro online de la ciudad, de donde se obtendrán los datos de la superficie de la cubierta (Figura 26).

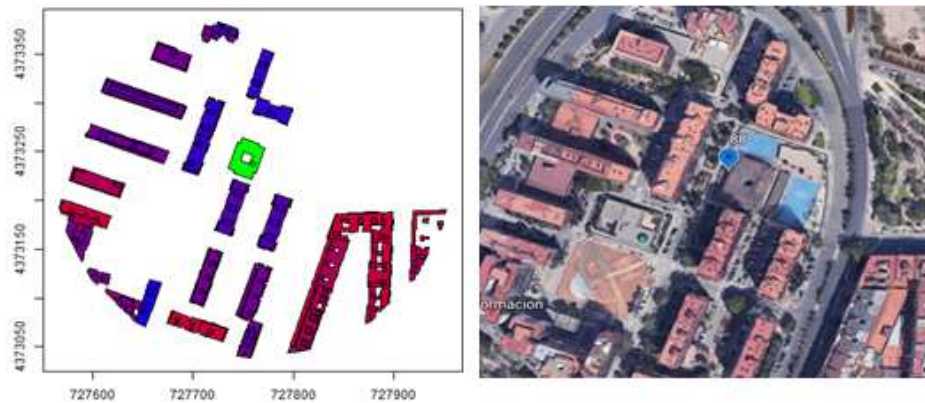


Figura 27. Imagen de los edificios detectados por el programa sobre la que se realizarán los cálculos de sombras junto a la imagen aérea de la cubierta del edificio seleccionado.

Para estimar la generación fotovoltaica máxima, el programa multiplica esta superficie por un factor reductor de 0.7 para considerar que no toda la superficie es aprovechable y aplica las ecuaciones que sugiere el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red del IDAE (2011).

Con esto calcularemos el potencial fotovoltaico de las cubiertas de los edificios públicos seleccionados para este trabajo.

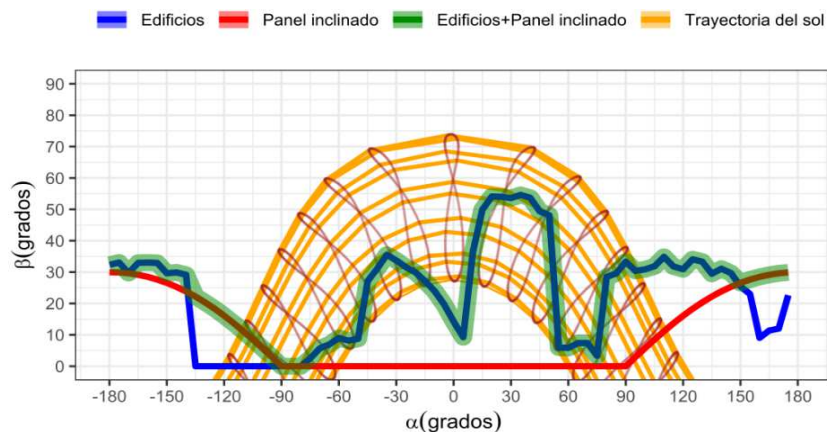


Figura 28. Diagrama solar generado para la coordenada de la cubierta introducida. (Software desarrollado por E. Fuster J. Pavá Herrero y C. Prades Gil.(2019).



## 2.9 Resultados.

Considerando únicamente el potencial fotovoltaico disponible en las cubiertas de los edificios seleccionados para este estudio, se podría abastecer al menos el 60% del consumo eléctrico de forma renovable en el 33% de los edificios seleccionados, un valor considerablemente menor respecto al 65% estimado con anterioridad para el abastecimiento de los mismos edificios con instalaciones en espacio público. Esta diferencia de generación es debida a diversos factores, entre los que podemos destacar los errores del programa con determinadas superficies de cubiertas introducidas, de las cuales no se han podido obtener las estimaciones anuales de generación fotovoltaica; la ausencia de cubiertas para abastecer los consumos eléctricos de las fuentes públicas; la falta de espacio en las cubiertas de los edificios para abastecer el 60% de su consumo o la mala localización de estas cubiertas (proyecciones de sombras de edificios cercanos, obstáculos en sus superficies, etc.). A continuación, se muestra la generación anual máxima estimada en las cubiertas de los edificios públicos respecto a la generación anual total estimada en espacio público por barrios (Figura 29). Pese a que el potencial de generación en cubiertas es menor que el disponible en espacio público, se deben priorizar las instalaciones en las cubiertas siempre que se presenten condiciones favorables para ello, ya que las instalaciones en espacio público requerirán la construcción de las pérgolas sobre la que se instalarán los paneles fotovoltaicos, por lo que los costes de estas instalaciones serán superiores en comparación a una misma instalación en cubierta.

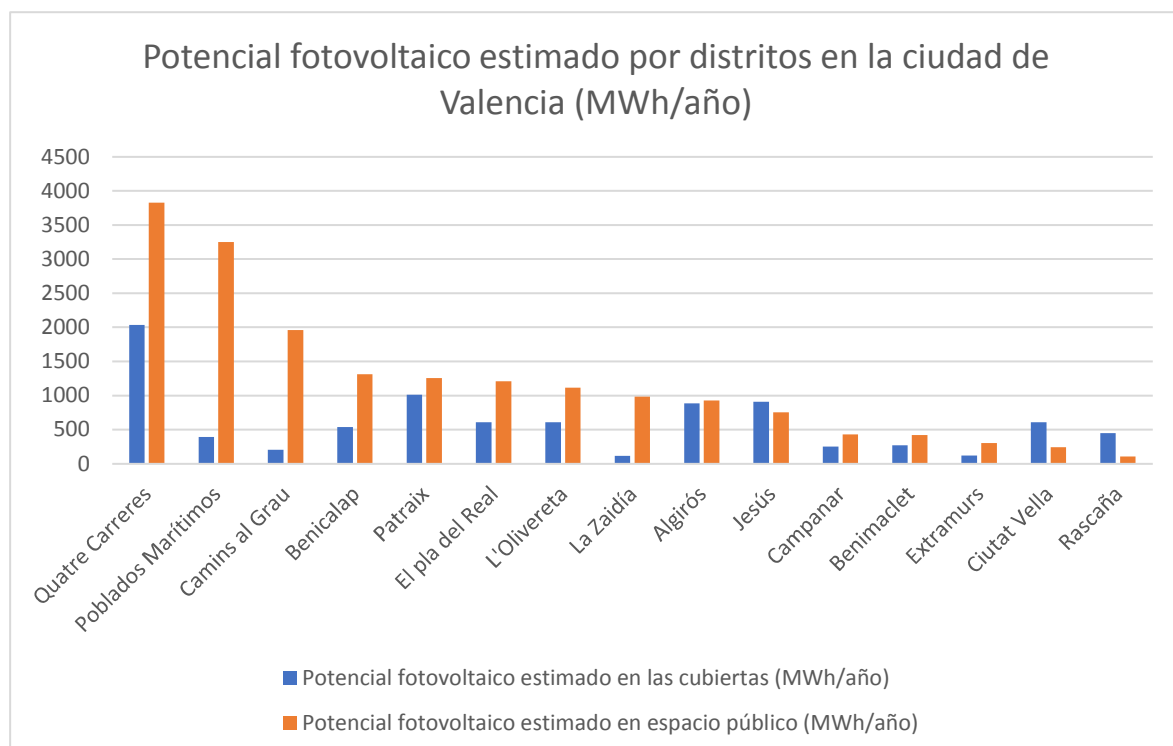


Figura 29. Potencial de generación anual estimada en cubierta y en espacio público por distritos para los edificios públicos seleccionados.



## Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

Si se combina la generación disponible en las cubiertas de los edificios públicos, junto a instalaciones fotovoltaicas en espacio público, se podrían abastecer el 83% de los edificios y fuentes públicas seleccionadas para este estudio, generando hasta 10.635 MWh por año para el autoconsumo de las instituciones públicas seleccionadas, que supondría el 40% de la electricidad consumida por estos edificios y fuentes.

Como podemos observar, la complementación de estas instalaciones en espacio público junto a instalaciones en las cubiertas de los edificios públicos permitirá autoabastecer a la mayoría de edificios públicos tenidos en cuenta para este trabajo, reduciendo la factura eléctrica del ayuntamiento y descentralizando la producción eléctrica en las ciudades. Con esto, se reducirá la dependencia de los combustibles fósiles para generar electricidad, contribuyendo al desarrollo sostenible de la ciudad de Valencia.

Con el objetivo de fomentar el autoconsumo urbano en la ciudad, una iniciativa recomendable que podrían tomar las instituciones públicas puede ser la de abastecer con instalaciones fotovoltaicas los consumos de determinados tipos de edificios que estén presentes en todos los barrios de la ciudad, como los consumos de los colegios públicos y mercados más importantes de Valencia.

Las instalaciones fotovoltaicas para autoconsumo en mercados y colegios son muy interesantes por las diversas ventajas que estas pueden aportar a la ciudad. Además de producirse un ahorro económico en la factura de la luz, aportar espacios de sombra a la ciudad y reducir la emisión de gases contaminantes a la atmosfera, estas instalaciones pueden utilizarse con fines pedagógicos para sensibilizar a los usuarios sobre la contaminación y la importancia del desarrollo sostenible de las ciudades, sirviendo como un modelo ejemplarizante para los ciudadanos que ayude a fomentar las instalaciones fotovoltaicas para autoconsumo en las ciudades:

### 2.9.1 Pérgolas fotovoltaicas para el abastecimiento de los mercados públicos.

Actualmente, el ayuntamiento ha comenzado a realizar instalaciones fotovoltaicas para abastecer el consumo de algunos de los mercados más importantes de Valencia. Debido a sus altos consumos eléctricos, su horario de funcionamiento, (8:00 a 15:00) que coincide con las horas solares más favorables para generar electricidad, y sus amplias cubiertas, son un objetivo ideal para implementar instalaciones fotovoltaicas para autoconsumo. Por ello, nos preguntamos qué posibilidades de autoconsumo hay en los demás mercados de la ciudad.

El uso de pérgolas fotovoltaicas en espacio público es especialmente interesante en estos casos, ya que no será posible utilizar las cubiertas para la instalación de paneles en algunos mercados, principalmente porque estas no fueron diseñadas para realizar instalaciones en su superficie. Además, estos edificios presentan consumos eléctricos considerablemente altos y distribuidos en periodos que coinciden con las horas de mayor generación fotovoltaica (mediodía solar), lo cual favorecerá a la amortización de la instalación.

A continuación, se muestra la generación fotovoltaica anual que sería posible combinando la generación en cubierta con el uso de pérgolas fotovoltaicas en los mercados administrados por el Ayuntamiento de Valencia.

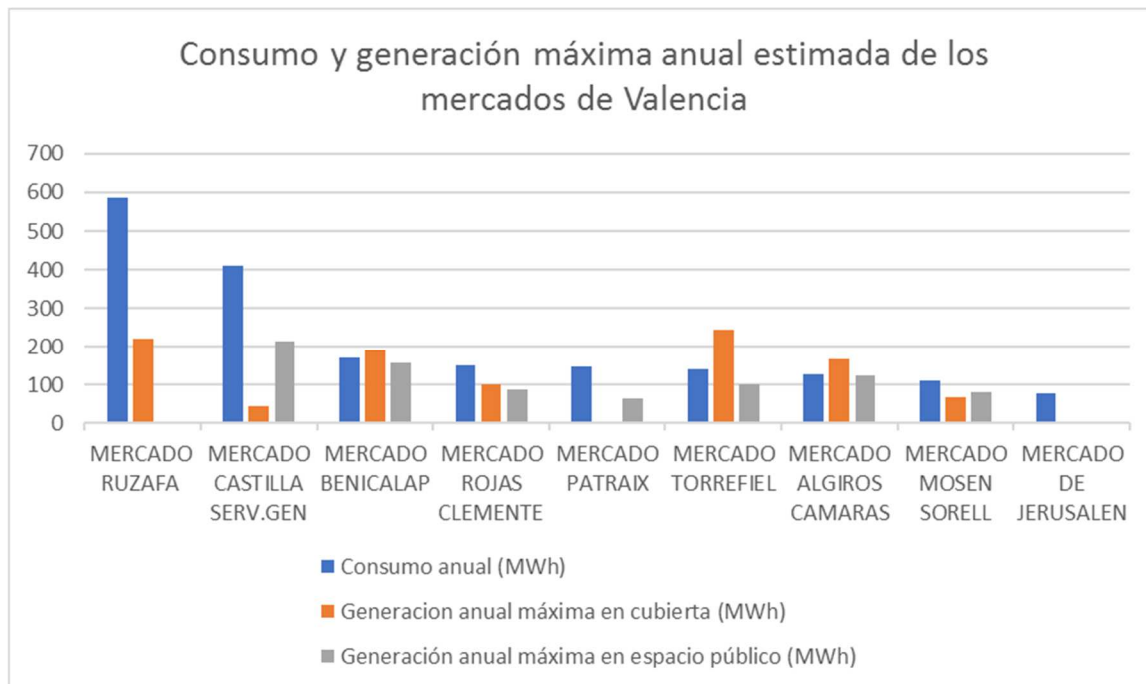


Figura 30. Consumos y generación anual estimadas en cubierta y en espacio público para los mercados de Valencia administrados por el ayuntamiento.

Los mercados mostrados en esta gráfica representan el 92% del consumo total de mercados gestionados por el Ayuntamiento de Valencia.

El programa utilizado para los cálculos de generación en cubierta no realiza la simulación correctamente con algunas superficies, y no se ha comprobado la viabilidad estructural de las cubiertas de los mercados para la instalación de paneles solares pero se puede ver que, en caso de ser aptas para su instalación, la generación estimada en sus cubiertas es considerable.

Estas superficies de generación podrían ser aprovechadas para abastecer los consumos de comunidades energéticas creadas en los alrededores además del consumo eléctrico del mercado, mejorando la rentabilidad de la instalación y reduciendo los excedentes de energía vertidos a red producidos tras el cierre de los mercados.

Como podemos observar, combinando la generación en cubierta y las pérgolas fotovoltaicas, la mayoría de mercados tienen capacidad suficiente para realizar un diseño de autoconsumo que produzca beneficios económicos y sociales, tal y como se ha hecho con el mercado de Castilla y el de Rojas Clemente, donde el ayuntamiento ha instalado pérgolas fotovoltaicas para autoconsumo de 50 y 60 kW respectivamente. Las localizaciones propuestas para las pérgolas fotovoltaicas que abastecerían los consumos de los demás mercados fueron las siguientes, todas ellas localizadas en un radio de 500 metros del punto de consumo.

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

- *Mercado Mossen Sorell.*



Figura 31. Mercado de Mossen Sorell junto a las pérgolas fotovoltaicas propuestas para cada mercado. (Google Earth)

- Mercado de Jesús-Patraix(izquierda) y Mercado Benicalap (derecha).

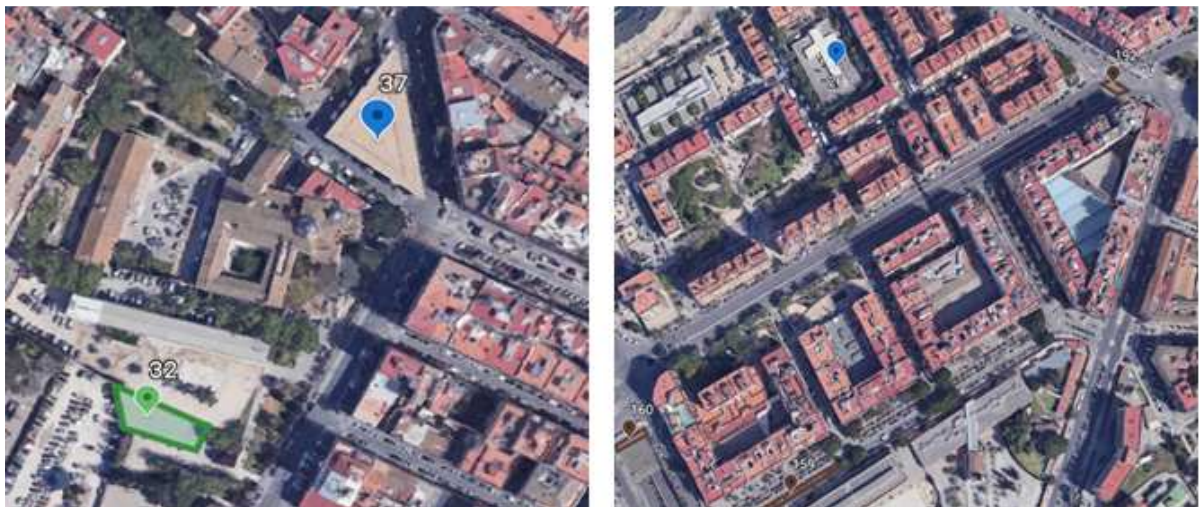


Figura 32. Mercados de Patraix y Benicalap junto a las ubicaciones de pérgolas fotovoltaicas propuestas para cada mercado. (Google Earth).

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

- *Mercat d'Algirós (izquierda) y Mercado Municipal de Torrefiel (derecha).*



*Figura 33. Mercados de Algirós y Torrefiel junto a las pérgolas fotovoltaicas propuestas para cada mercado. Imágenes obtenidas con Google Earth.*

2.9.2 Generación fotovoltaica en las escuelas.

Según los datos facilitados por el Ayuntamiento de Valencia, actualmente podemos encontrar 151 escuelas públicas en la ciudad. De ellas, en este trabajo se ubicaron las 47 escuelas que más electricidad consumieron a lo largo del año 2018, suponiendo el 63% del consumo total de las escuelas.

En las escuelas tenidas en cuenta, se estimó en este trabajo que el 68% de ellas tienen capacidad suficiente para generar más del 60% de su electricidad con paneles instalados en sus cubiertas, sin tener en cuenta la generación fotovoltaica en espacio público.

Las pérgolas fotovoltaicas pueden servir para complementar en aquellos colegios donde las cubiertas sean insuficientes o en aquellos casos donde pérdidas por sombras de sus cubiertas sean demasiado altas por la presencia de otros edificios cercanos.

También estas pérgolas fotovoltaicas tienen la opción de instalarse en los patios de los colegios, abasteciendo los consumos de estos y creando espacios de sombras beneficiosos para la actividad del colegio que protegerían a los usuarios de insolaciones durante las épocas más calurosas del año. Estos espacios de sombras llevan siendo reclamados reiteradamente por los centros educativos a la Consellería de Educación desde hace tiempo, y el ayuntamiento ya ha contratado el diseño prototipo de pérgola fotovoltaica para 25 patios de centros educativos de Valencia, tal y como recoge el diario Levante-emv (ED/EP(2020)) .

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

En base a la generación fotovoltaica anual estimada en espacio público para cada institución del ayuntamiento seleccionada con anterioridad, si se combina la generación de las pérgolas fotovoltaicas en espacio público con la generación disponible en las cubiertas, el 95% de los colegios tendría capacidad suficiente para realizar instalaciones de autoconsumo que cubran, al menos el 60% de su electricidad generada.

Como podemos observar, la complementación de instalaciones fotovoltaicas en las cubiertas de los edificios con instalaciones en espacio público nos permite abastecer a un mayor número de colegios y nos da una alternativa viable para aquellos edificios que no dispongan de cubiertas aptas para instalar paneles fotovoltaicos, aumentando la generación fotovoltaica y favoreciendo el desarrollo sostenible de la ciudad.

Finalmente, en el Anexo II de este trabajo se adjunta una tabla con los colegios seleccionados para este trabajo junto a sus consumos anuales, la generación máxima anual estimada para sus cubiertas y la generación máxima anual de las ubicaciones cercanas.

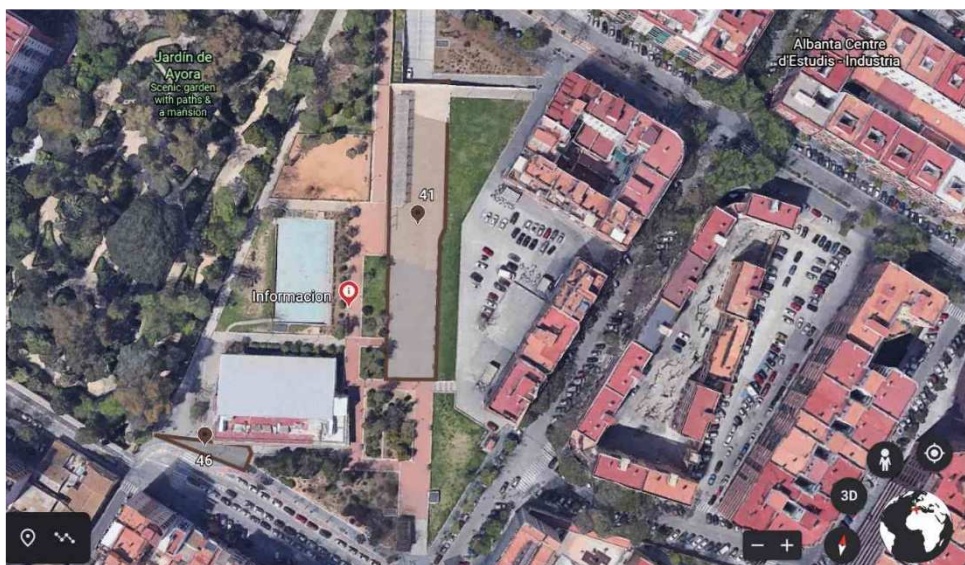
Una vez realizadas estas estimaciones de generación fotovoltaica en cubiertas y espacio público para edificios y fuentes públicas, se ha procedido a comprobar la viabilidad y funcionamiento de una de las 280 ubicaciones en espacio público propuestas, analizando las diferentes opciones de abastecimiento que se presentan y seleccionando la mejor configuración en base a la superficie disponible y los consumos a abastecer, seleccionando la opción con mayor rentabilidad.



## Capítulo 3. Viabilidad económica de una de las ubicaciones recomendadas para la localización de pérgolas fotovoltaicas.

A continuación, nos disponemos a analizar la viabilidad de una de las ubicaciones propuestas para la implementación de pérgolas fotovoltaicas en la ciudad de Valencia, con el objetivo de abastecer consumos eléctricos de los edificios públicos cercanos.

De las 280 ubicaciones seleccionadas, se ha decidido analizar la localización del parque de la estación de metro de ayora, ya que esta cuenta con una amplia disponibilidad de superficie y se encuentra bien localizada para abastecer consumos eléctricos considerablemente altos.



*Figura 34. Vista aérea del parque de Ayora. (Google Earth).*

Para analizar la viabilidad de la instalación y determinar sus dimensiones, se han seguido los pasos mostrados en el siguiente apartado.

### **3.1 Procedimiento realizado.**

En este apartado se muestra el procedimiento llevado a cabo a continuación para analizar la viabilidad económica de la instalación de pérgolas fotovoltaicas seleccionada. Para ello, haremos uso principalmente del programa HOMER, un software diseñado para analizar y optimizar diferentes sistemas eléctricos que incorporen o no una o más fuentes de energías renovables. Con esta herramienta determinaremos las dimensiones de la instalación y obtendremos resultados económicos que nos permitirán analizar la viabilidad de la instalación. Para ello, seguiremos los pasos mostrados a continuación.

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

- *Analizar las pérdidas de irradiación de la ubicación propuesta.* Seleccionaremos una superficie del parque sobre la que instalar las pérgolas fotovoltaicas y calcularemos las pérdidas por sombras producidas por los edificios cercanos para averiguar si el emplazamiento seleccionado es una opción viable.
- *Localizar los edificios públicos en un radio de 500 metros.* Tras determinar que este parque es una buena localización para implementar pérgolas fotovoltaicas, se han buscado en un radio de 500 metros posibles edificios públicos a los que abastecer y se han obtenido sus curvas horarias de consumo, necesarias para el análisis económico de la instalación. Las localizaciones y consumos de estos edificios han sido obtenidos con ayuda de un archivo excel con los registros de los consumos eléctricos municipales facilitado por el Ayuntamiento de València, estando localizados algunos de ellos con anterioridad en el capítulo II.
- *Obtener los datos climatológicos necesarios.* Tal y como se mencionó con anterioridad, realizaremos el análisis de la instalación con el programa HOMER. Para ello, será necesario obtener los datos de irradiación de la localización, la orientación respecto al sur del parque y la temperatura ambiente a lo largo del año. Para las irradiaciones y temperaturas haremos uso de PVGIS y obtendremos la orientación del parque de Google Earth. Este paso está recogido en el Anexo I, donde se muestra el funcionamiento de HOMER y los datos introducidos.
- *Selección de los equipos fotovoltaicos.* Escogeremos los equipos fotovoltaicos necesarios que mejor se adapten a nuestra instalación, consultando precios por internet y siguiendo criterios económicos principalmente.
- *Disposición de las pérgolas fotovoltaicas propuestas dentro del parque.* Propondremos unas dimensiones de las pérgolas a construir con el fin de integrarlas lo mejor posible dentro del parque y obtener el mayor potencial fotovoltaico posible. Sabiendo las dimensiones de la estructura propuesta, calcularemos la potencia máxima instalable en el parque.
- *Estimar los costes de construcción de las pérgolas propuestas.* Una vez sabidas las dimensiones de las pérgolas sobre las que se instalarán los paneles fotovoltaicos, haremos una aproximación de los costes de construcción de estas estructuras basándonos en presupuestos de otros proyectos y precios consultados online.
- *Averiguar el potencial fotovoltaico de la pérgola ya existente.* Tal y como observaremos más adelante, dentro del parque podemos encontrar una pérgola de acero instalada sobre la que cabe la posibilidad de instalar paneles fotovoltaicos en ella. Estimaremos su potencial fotovoltaico.

## Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

- *Estimar los fijos de la instalación fotovoltaica por kW.* Se han buscado los costes fijos de distintos proyectos de autoconsumo conectados a red de potencias de 20 kW hasta instalaciones fotovoltaicas de más de 100 kW realizadas a lo largo de los últimos 5 años, con el fin de estimar para la instalación propuesta los costes por kW referidos a mano de obra, estructuras de los paneles, cableado, medidas de seguridad y monitorización. Estos costes varían según el tamaño de las instalaciones fotovoltaicas a realizar, siendo más baratos los costes por kW en instalaciones de autoconsumo mayores dimensiones.

Estos costes se recogen en el Anexo I, donde se muestra una tabla resumen de los costes fijos totales estimados para instalaciones de distintas potencias y que, sumados a los costes de los paneles fotovoltaicos necesarios y los costes de construcción de las pérgolas, se introducen en HOMER para la posterior obtención de los resultados económicos buscados.

- *Realizar el análisis económico y dimensionado de la instalación.* Una vez sabidos los datos generales de la instalación, haremos uso del programa HOMER para los diferentes casos de estudio propuestos y realizaremos un análisis de los resultados obtenidos. En la memoria únicamente se muestran los resultados obtenidos para cada caso de estudio, mientras que en el Anexo I se pueden seguir los pasos realizados para obtener estos resultados.

Una vez explicado el procedimiento a seguir, comenzamos analizando las pérdidas por sombras incidentes en el parque de Ayora para comprobar si esta es una localización viable para este tipo de instalaciones.

### **3.2 Pérdidas por sombra de la localización.**

Dentro del parque de Ayora podemos observar varias áreas libres en las que se podrían instalar pérgolas fotovoltaicas para autoconsumo. En este estudio solo se tendrá en cuenta el área 41, de 2100 m<sup>2</sup> mostrada en la siguiente imagen, pero, en caso de ser necesario, se pueden recurrir a otras áreas del parque, con una disponibilidad de hasta 800 m<sup>2</sup> más.

Dentro de la superficie seleccionada encontramos una pérgola de acero instalada de 4 metros de altura. En principio la estructura se encuentra en buen estado, por lo que cabe la posibilidad de realizar las modificaciones necesarias y adecuarla a la instalación de paneles solares en su cubierta, permitiéndonos abaratar los costes de construcción de la instalación, al estar ahorrándonos la construcción de esta estructura.

A continuación, vamos a calcular las pérdidas de radiación que producirán a lo largo del año los edificios y árboles cercanos a esta superficie, con el fin de comprobar si la superficie seleccionada es una buena opción para una instalación fotovoltaica.



Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia



Figura 35. Vista aérea del parque de ayora. ( Google Earth)

En el parque se puede observar la presencia de dos edificios de alturas comprendidas entre los 25 y los 19 metros con respecto al suelo del parque, y la piscina municipal de Ayora como objetos que pueden proyectar sombras en las pérgolas. Los árboles cercanos se encuentran lo suficientemente alejados en relación a la altura que presentan como para llegar a afectar al cálculo de sombras de la ubicación.

Para estimar las pérdidas por sombras incidentes en la superficie seleccionada, se ha tomado una altura de referencia de 4 metros respecto a la altura del parque, por ser esta la altura a la que se encuentra la pérgola ya instalada. A continuación, se han tomado 8 coordenadas dentro de la superficie del parque propuesta (Figura 36) y se han calculado las pérdidas por sombras de estos puntos siguiendo el mismo método utilizado en el apartado 2.6, especificado en el Documento Básico de Ahorro de Energía HE5 (IDAE(2017)).

Para realizar este cálculo, se han obtenido los ángulos de elevación y azimut de las esquinas de los edificios que producirán sombras sobre los 8 puntos seleccionados dentro del parque y se han introducido sus valores en el programa CE3X, donde se obtienen sus diagramas solares sobre los que calcular las pérdidas de irradiación producidas a lo largo del año.

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia



Figura 36. Puntos donde han sido calculadas las pérdidas por sombras del parque. (Google Earth).

Estas coordenadas han sido tomadas con el fin de estimar las pérdidas por sombras a lo largo de toda la superficie del parque seleccionada. Aquellos árboles que se pueden observar cerca de los puntos 1, 3, 5 y 7 no se han tenido en cuenta, ya que debido a su altura no afectarán a los cálculos.

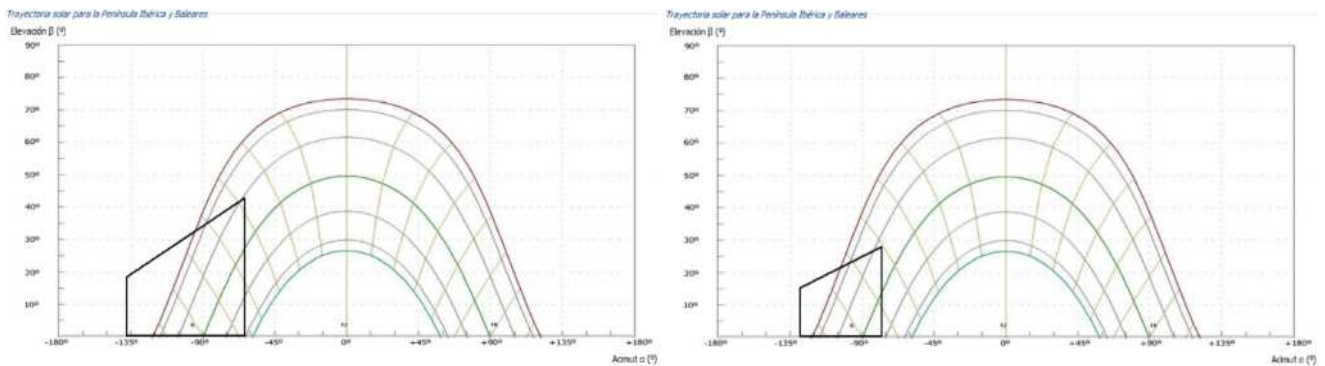


Figura 37. Pérdidas por sombras de los edificios cercanos en el diagrama solar del Punto 2 (izquierda) y Punto 1 (derecha). (CE3X)

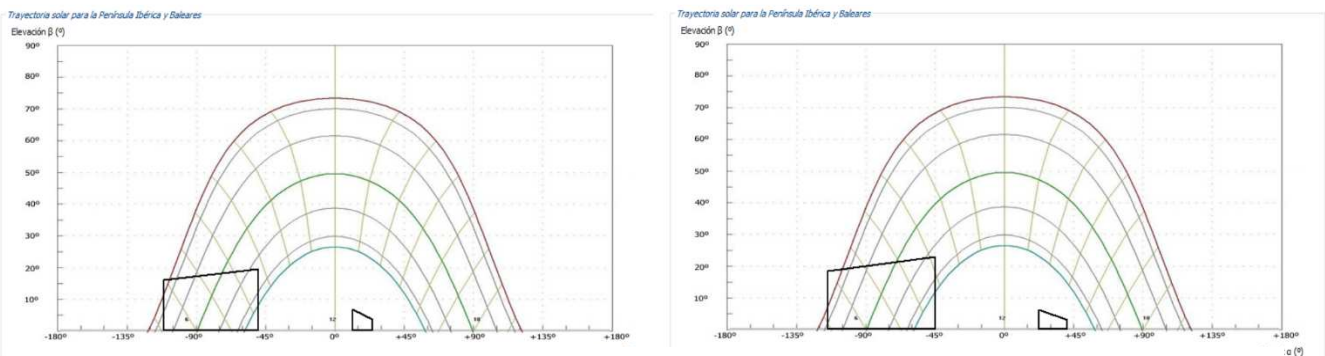


Figura 38. Pérdidas por sombras de los edificios cercanos en el diagrama solar del Punto 3 (izquierda) y Punto 4 (derecha). (CE3X)

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

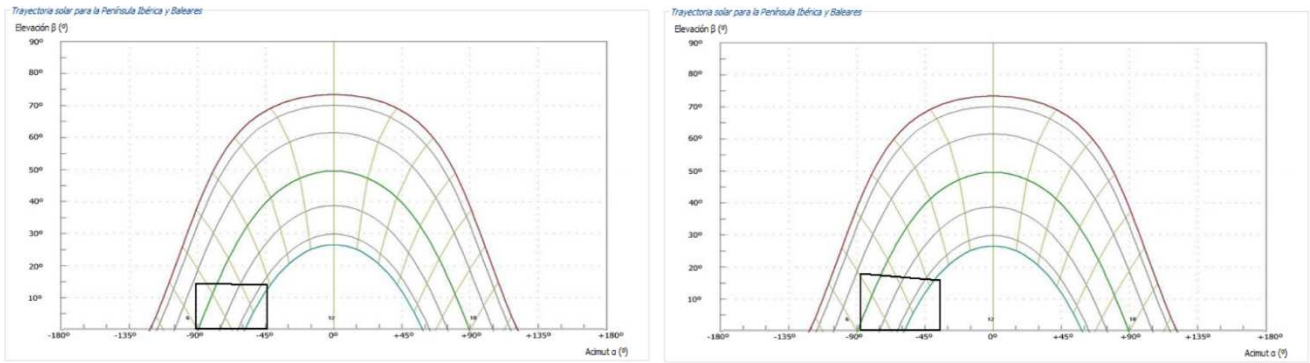


Figura 40. Pérdidas por sombras de los edificios cercanos en el diagrama solar del Punto 5 (izquierda) y Punto 6 (derecha). (CE3X)

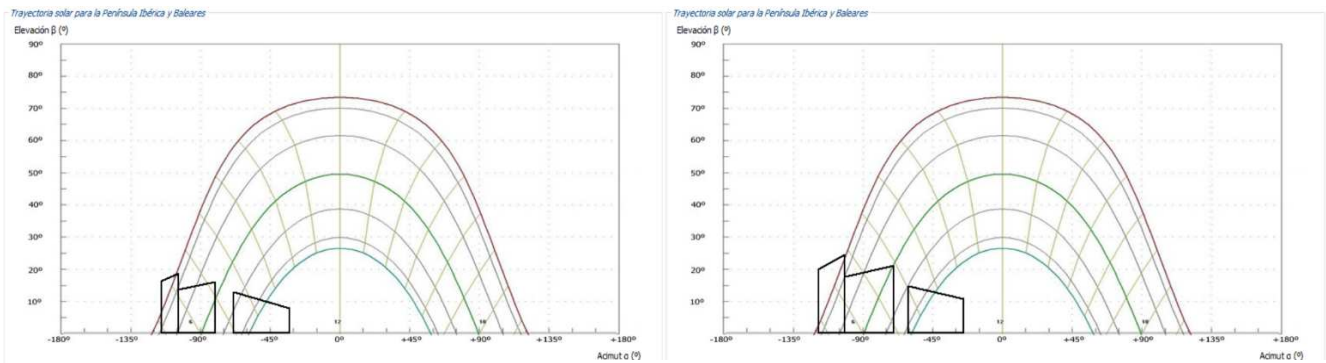


Figura 39. Pérdidas por sombras de los edificios cercanos en el diagrama solar del Punto 7 (izquierda) y Punto 8 (derecha). (CE3X)

Las pérdidas estimadas en cada punto, siguiendo los pasos recomendados en el Documento Básico de Ahorro de Energía Sección HE 5(IDAE(2017)), han sido las mostradas en la siguiente tabla:

	<b>Punto 1</b>	<b>Punto 2</b>	<b>Punto 3</b>	<b>Punto 4</b>	<b>Punto 5</b>	<b>Punto 6</b>	<b>Punto 7</b>	<b>Punto 8</b>
Porcentaje de Pérdidas	1,41%	3,66%	1,80%	2,79%	0,94%	1,38%	0,62%	1,54%

Tabla 11. Pérdidas por sombras estimados para 6 puntos distintos del parque.

Como observamos, las pérdidas producidas por sombras son menores al 4% en todos los puntos de la superficie seleccionada y se producirán durante las primeras horas del día, por lo que resulta una ubicación idónea para aprovechar la radiación solar como fuente de energía. Con el fin de simplificar los cálculos, estimaremos unas pérdidas constantes en toda la superficie del parque seleccionada del 3%. Para introducir estas pérdidas, introduciremos en HOMER una media de los valores mensuales de irradiación de esta localización de los últimos 10 años y exportaremos la curva que genera este programa, obteniendo las irradiaciones horarias a lo largo de un año. A continuación, con el diagrama solar obtenido de CE3X, podemos averiguar las horas del año en las que se producirán sombras, por lo que sustituimos en estas horas la irradiación incidente a 0.

Los resultados obtenidos se muestran en el anexo I, donde se introduce esta irradiación anual modificada a HOMER.



Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

Una vez comprobado que esta superficie dispone de buenas condiciones para el aprovechamiento de la radiación solar, nos disponemos a localizar edificios del ayuntamiento que se encuentren en un radio de 500 metros del parque, con el fin de implementar una instalación fotovoltaica para el autoconsumo de estas instituciones.

### 3.3 Localización de los edificios municipales cercanos. Obtención de las curvas de consumo.

Desde el lugar propuesto para la instalación de pérgolas fotovoltaicas se podrían abastecer los consumos de los siguientes edificios, según lo establecido en el Real Decreto 249/2019, por el que se regulan las condiciones del autoconsumo en España, donde se menciona que la distancia máxima entre los puntos de medida para instalaciones conectadas a red es de 500 metros:

- *Oficina de Ocupación y Formación del Ayuntamiento de Valencia.* (Calle Leones 9). 129.255 kWh. Color amarillo (Figura 41).
- *Centre Municipal de Joventut d'Algirós.* (C. Campoamor 91). 204.239 kWh. Color rosa (Figura 41).

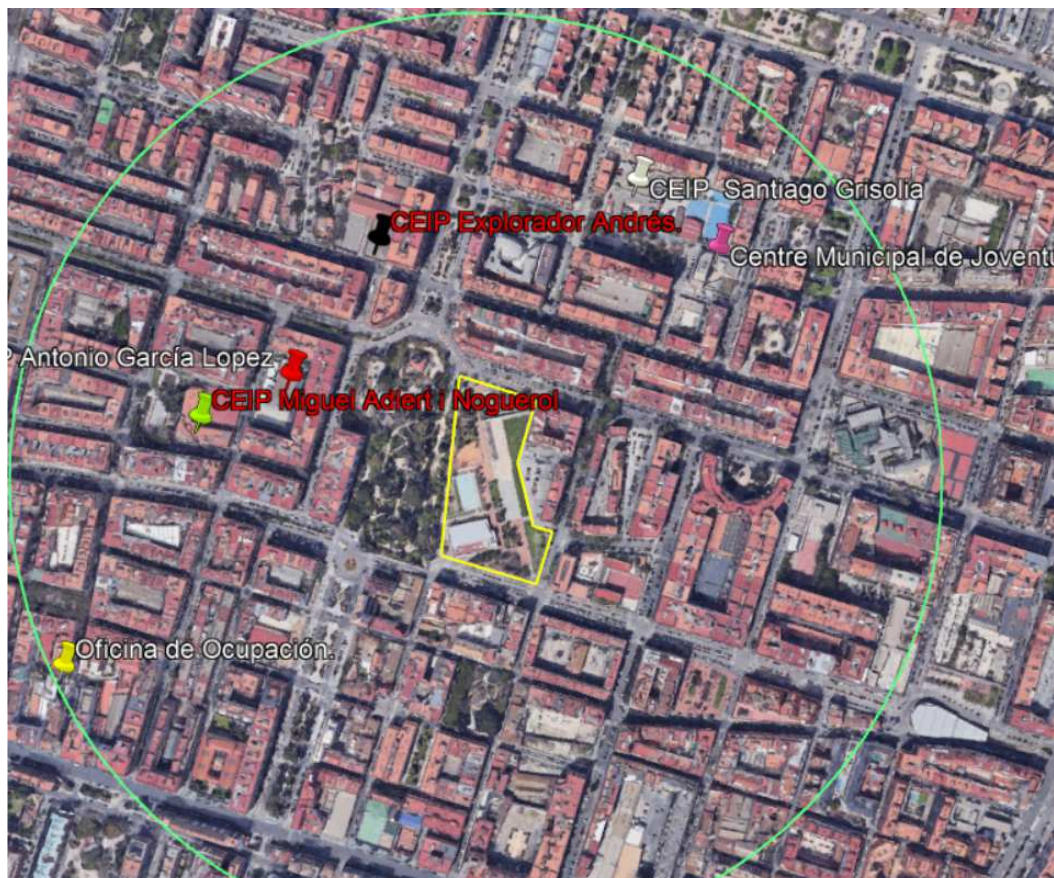


Figura 41. Vista aérea del parque de ayora y los consumos públicos seleccionados, localizados en un radio de 500 metros. (Google Earth).

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

Estas dos instituciones, junto a los colegios Santiago Grisolia y Miguel Adlert i Nogueroles son los consumos públicos más altos que se encuentran en un radio de 500 metros (Real Decreto 249/2019) del parque de Ayora, y fueron localizadas con anterioridad para la estimación del potencial fotovoltaico, ya que ambos edificios superaron los 58.000 kWh anuales en el año 2018.

Como se podrá observar posteriormente, la oficina de ocupación (amarillo) no dispone de cubierta suficiente para una instalación fotovoltaica acorde a sus consumos municipales (125.255 kWh), por lo que se justifica la utilización de una instalación fotovoltaica en espacio público. Con el fin de mejorar la rentabilidad de la instalación y aprovechar una mayor superficie del parque, se han buscado otros consumos públicos cercanos a los que poder abastecer con una misma instalación:

- *CEIP Explorador Andrés.* (Calle del Poeta Mas I Ros, 61). 45.560 kWh. Color negro.
- *C.P Antonio García Lopez.* (Calle Peris Brell 61) 37.575 kWh. Color rojo.
- *CEIP Municipal Profesor Santiago Grisolia.* (Carrer de Campoamor 89). 62.093 kWh. Color blanco.
- *CEIP Miguel Adlert i Nogueroles.* (Calle Pepe Alba 21) 84.072 kWh. Color verde.

Además de los consumos seleccionados hay disponibles otros edificios municipales a los que se podría abastecer desde esta localización, pero se han decidido seleccionar únicamente estos 6 consumos correspondientes a cuatro colegios, unas oficinas y un centro de juventudes por ser los de mayor gasto eléctrico de la zona. A continuación, se muestra una tabla resumen de las tarifas y gastos generados en el año 2018 por estos edificios, cuyos datos y localizaciones han sido obtenidos de un archivo con los registros de los consumos eléctricos municipales facilitado por el Ayuntamiento de València.

<b>Descripción Punto de Suministro</b>	<b>Tarifa Acceso</b>	<b>CAP1 (kWh)</b>	<b>CAP2 (kWh)</b>	<b>CAP3 (kWh)</b>	<b>CAP Total (kWh)</b>	<b>Importe sin IVA (€)</b>
<i>CENTRO DE EMPLEO</i>	<i>3.1A</i>	<i>38.324</i>	<i>59.208</i>	<i>31.723</i>	<i>129.255</i>	<i>19.207</i>
<i>CENTRO COORD. JUVENTUD</i>	<i>3.1A</i>	<i>66.344</i>	<i>99.661</i>	<i>38.234</i>	<i>204.239</i>	<i>32.289</i>
<i>C.P. EXPLORADOR ANDRES</i>	<i>3.0A</i>	<i>10.155</i>	<i>27.274</i>	<i>8.131</i>	<i>45.560</i>	<i>6.376</i>
<i>C.P. ANTONIO GARCIA LOPEZ</i>	<i>3.0A</i>	<i>8.711</i>	<i>23.399</i>	<i>5.465</i>	<i>37.575</i>	<i>5.333</i>
<i>C.P. SANTIAGO GRISOLIA</i>	<i>3.0A</i>	<i>13.485</i>	<i>36.935</i>	<i>11.673</i>	<i>62.093</i>	<i>8.453</i>
<i>C.P.M. ADLERT NOGUEROL</i>	<i>3.0A</i>	<i>19.954</i>	<i>52.289</i>	<i>11.829</i>	<i>84.072</i>	<i>11.333</i>

*Tabla 12. Datos de los consumos eléctricos de instituciones en un radio de 500 metros.*

### 3.3.1 Obtención de las curvas de consumo de los edificios seleccionados.

Para poder realizar el dimensionado y el análisis económico de una instalación fotovoltaica de autoconsumo, será necesario obtener los consumos horarios anuales de los edificios a los que se pretende abastecer. Para obtener estas curvas de consumo se facilitó un archivo con las curvas de carga de diferentes consumos públicos, estando identificadas mediante su código CUP. Sin embargo, en este archivo no se encuentran disponibles las curvas de carga de todos los edificios, y algunas de estas curvas se encuentran incompletas, lo cual supone un problema, ya que para el correcto funcionamiento del programa HOMER, será necesario introducir un archivo con 8760 valores de consumo (correspondientes a las horas de un año). Para obtener estos valores de consumo de los 6 edificios localizados con anterioridad y sobre los que se pretende diseñar la instalación fotovoltaica, se han realizado una serie de modificaciones sobre las curvas existentes:

#### *Completar fragmentos cortos de tiempo sin registros*

Algunas curvas de consumo presentan días o semanas en las que no hay consumos registrados. Como se necesitan datos de todos los consumos horarios del año, se ha realizado el promedio horario de los días laborables con registros de consumos más cercanos, y se ha realizado otro promedio para días no laborables (festivos + fines de semana) cercanos marcados en el calendario laboral de la Generalitat Valenciana (2020). Siguiendo este calendario, se han completado los días-semanas sin datos de consumos a partir de los promedios de los días laborables y no laborables más cercanos.

#### *Completar meses sin registros.*

En buena parte de las curvas de consumo disponibles, no se encuentran datos de consumo para los meses de octubre, noviembre y diciembre. Tras probar y analizar diversos métodos, se ha decidido completar los datos de octubre con los del mes de septiembre; diciembre con el mes de enero y noviembre con los datos de consumo del mes de abril. Realizando esto, el consumo global de los edificios resultaba bastante similar al consumo total anual registrado en el archivo proporcionado y no afectaba significativamente a los resultados finales.

#### *Curvas de Carga para edificios sin registros.*

En el archivo facilitado no se encuentran las curvas de carga de todos los edificios buscados, o solamente con el registro de unos pocos meses, resultando imposible obtener los consumos horarios de todo el año. Para estos casos, se han tomado las curvas de consumo disponible de edificios similares y se han adecuando sus consumos para mantener los kWh:

Por ejemplo, para obtener la curva de carga del colegio Adlert Noguerol, como no se disponen de sus consumos, se utilizan 2 curvas de carga de otros colegios con consumos anuales similares:

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

Descripción Punto de Suministro	Tipo de Punto de Suministro	Municipio	Tarifa Acceso	CAP1 (kWh)	CAP2 (kWh)	CAP3 (kWh)	CAP Total (kWh)
C.P.M ADLERT NOGUEROL	ES - ESCUELAS	Valencia	3.0A	19.954	52.289	11.829	84.072
C.P MARE NOSTRUM	ES - ESCUELAS	Valencia	3.0A	17.672	49.833	11.015	78.520
C.P CASTELLAR-OLIVERAL	ES - ESCUELAS	Valencia	3.0A	18.312	48.733	19.661	86.706

Tabla 13. Consumos eléctricos por periodos de los colegios públicos con curvas de carga anuales disponibles.

Si observamos los kWh consumidos en cada periodo de su tarifa de acceso, podemos obtener los porcentajes de consumo eléctrico en cada periodo designado para la tarifa eléctrica contratada 3.0A, común a los tres colegios:

Descripción Punto de Suministro	CAP Total (kWh)	P1(%)	P2 (%)	P3 (%)
CPM ADLERT NOGUEROL	84.072	23,73%	62,20%	14,07%
C.P MARE NOSTRUM	78.520	22,51%	63,47%	14,03%
C.P CASTELLAR-OLIVERAL	86.706	21,12%	56,21%	22,68%

Tabla 14. Porcentaje de consumos eléctricos por periodos de 3 colegios

Como la distribución de los consumos por periodos del colegio Adlert Noguerol se asemejan más a los del colegio Mare Nostrum, utilizaremos su curva de carga como referencia. Al ser los consumos anuales del Mare Nostrum menores que los del Adlert Noguerol, multiplicamos todos sus consumos horarios anuales por 1,12 para mantener los kWh anuales del colegio constantes.

Por tanto, realmente se está introduciendo la curva de carga de otro edificio, pero al estar destinados ambos a la misma función (los tres edificios son colegios), y localizados en la misma ciudad (clima similar), el perfil de consumo horario de cada uno de estos colegios será muy similar, tal y como se mostrará más adelante.

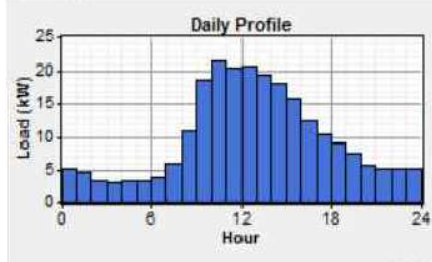
Para obtener las curvas de carga del centro de ocupación y del centro de juventudes de Algirós se ha utilizado como referencia la curva de carga horaria de un edificio de oficinas del ayuntamiento, ajustando los kWh anuales a los correspondientes del edificio. A continuación, mostramos imágenes de las curvas de consumo de los edificios públicos seleccionados, generadas al introducir los consumos horarios anuales de cada edificio en el programa HOMER.



Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

Colegio Antonio García Lopez y CEIP Adlert NogueroL:

**CEIP ADLERT NOGUEROL**



**C.P ANTONIO GARCÍA LOPEZ**

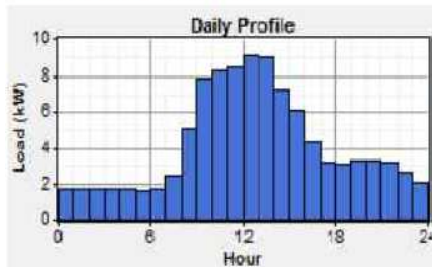


Figura 42. Curvas de consumo obtenidas con HOMER2.68 e imagen aérea de los Colegios Adlert NogueroL (izquierda) y Antonio García Lopez(derecha). (Google Earth)

CEIP Explorador Andrés:

**CEIP EXPLORADOR ANDRÉS**

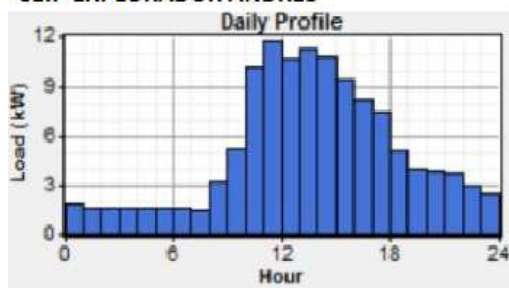


Figura 43. Curva de consumo obtenida con HOMER2.68 e imagen aérea del colegio CEIP Explorador Andrés. (Google Earth)



Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

*Colegio Santiago Grisolia y Centro municipal de Juventudes de Algirós:*



Figura 44. Curvas de consumo obtenidas con HOMER2.68 e imagen aérea del colegio Santiago Grisolia (izquierda) y el Centro municipal de Juventudes de Algirós. (Google Earth)

*Centro de ocupación y formación:*

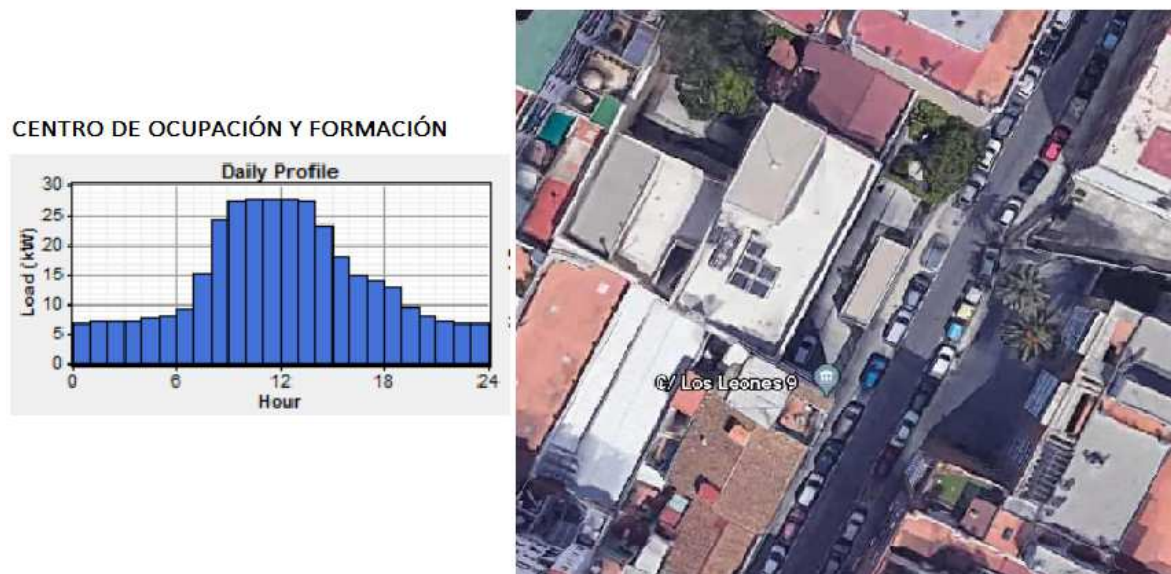


Figura 45. Curva de consumo obtenida con HOMER2.68 e imagen aérea del centro de ocupación y formación. (Google Earth)

Como podemos observar, las curvas de consumo de los cuatro colegios siguen prácticamente la misma tendencia, comenzando a aumentar los consumos eléctricos a partir de las 8:00 (Hora de apertura de los colegios) y alcanzando su pico de consumo sobre las 12:00. Desde que se alcance el pico de consumo, este irá decreciendo hasta llegar a las 18:00-19:00 horas, horario de cierre de los colegios y donde el consumo eléctrico de los colegios baja hasta llegar al mínimo y se mantendrá hasta la nueva apertura.

En cuanto a las curvas de consumo del centro de empleo y del centro de coordinación de juventudes, estas han sido obtenidas tomando como referencia la misma curva de carga de un edificio de oficinas del ayuntamiento, por lo que ambas tienen la misma distribución del consumo. Observamos que la curva de consumo corresponde al consumo típico de unas oficinas, comenzando su actividad a las 8:00 y alcanzando el pico de consumo sobre las 12:00, para finalmente alcanzar el mínimo consumo eléctrico entre las 19:00 y las 21:00.

Todas estas distribuciones de consumo son ideales para la implementación instalaciones fotovoltaicas, ya que los horarios de mayor consumo de estos edificios coinciden con las horas de mayor generación solar. Esto, tal y como se ha comentado con anterioridad, favorecerá la rentabilidad de la instalación.

### **3.4 Selección de los componentes de la instalación**

Los principales componentes que formarán parte de la instalación fotovoltaica de autoconsumo propuesta en este trabajo son los módulos fotovoltaicos y los inversores de conexión a red, además del cableado eléctrico, protecciones, cuadro eléctrico y estructuras.

El programa HOMER con el que estudiaremos la viabilidad de la instalación propuesta, realizará una simulación de todas las alternativas del sistema fotovoltaico y nos proporcionará las potencias de los paneles e inversores de la instalación basándose en criterios económicos.

Para poder realizar las simulaciones y determinar las dimensiones del sistema fotovoltaico en HOMER, será necesario conocer las características y costes de los paneles fotovoltaicos e inversores que se utilizarán en la instalación.

#### 3.4.1 Paneles fotovoltaicos.

Los paneles fotovoltaicos son los encargados de captar la radiación solar y transformarla en corriente eléctrica continua mediante el efecto fotoeléctrico.

Para la selección de los paneles fotovoltaicos a utilizar en esta instalación, en primer lugar, se han consultado distintos modelos y precios disponibles en varias páginas online dedicadas a la venta de productos para instalaciones solares en España. Se han elegido paneles fotovoltaicos con buenos rendimientos STC (Standard Test Condition) para que el área necesaria de la pérgola sea lo menor posible, ya que esto afectará directamente a la rentabilidad de la instalación tal y como se verá más adelante.

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

No se han añadido paneles con rendimientos mayores a los mostrados en la siguiente tabla, ya que el coste de estos resulta muy superior a los precios del mercado. Como se ha mencionado con anterioridad, se dispone de un área de 2100 metros cuadrados para la instalación fotovoltaica que se propone, por lo que no es necesario recurrir a módulos fotovoltaicos de mayor rendimiento con costes mucho más elevados. A continuación, se muestran las mejores ofertas de paneles fotovoltaicos encontrados por internet, en cuyos precios adjuntados se incluye el IVA y la entrega del producto (Tabla 15).

Modelo	A(m)	Pmax(W)	n (STC)	Precio (unidad)	Precio (€/kW)
PERC RED SOLAR	2,22498	440	0,1977546	119,54 €	271,68
TSM PERC TRINA SOLAR	2,389248	490	0,2050854	163,56 €	333,80
PERC RED SOLAR	1,687368	340	0,2014972	108 €	317,65
RED SOLAR PERC	1,69338	330	0,1948765	120 €	363,64
TRINA SOLAR	2,012016	350	0,1739549	96,6 €	276,00

Tabla 15. Tabla resumen de los paneles fotovoltaicos seleccionados

El panel seleccionado ha sido el panel solar 440W monocristalino PERC | SR-M672440HLP | 2094x1038x35mm | AURORA SPLIT CELL L - RED SOLAR, por ser el módulo fotovoltaico más barato en relación kW/€.

En el Anexo I se muestran sus especificaciones y se introducen en HOMER las características de los módulos seleccionados para realizar las simulaciones del sistema fotovoltaico, donde se incluyen los costes relacionados a los demás componentes de la instalación fotovoltaica correspondientes al cableado, protecciones, estructuras, cuadro eléctrico y medidas de seguridad (Costes fijos). Estos costes de los componentes han sido estimados a partir de los presupuestos de otros proyectos de autoconsumo conectados a red de potencias de 20kW hasta instalaciones de más de 100 kW, mostrados en la siguiente tabla:

<b>Tabla resumen de los costes asociados a una instalación de autoconsumo conectada a red.</b>					
<b>Potencia de la instalación(kWp)</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>35</b>	<b>25</b>	<b>15</b>
<b>Costes Fijos (€)</b>	55.853	30.525	26.250	19.405	11.611
<b>Costes Paneles (€)</b>	27.168	13.584	9.508	6.792	4.064
<b>Costes Totales (€)</b>	83.021	44.101	35.758	26.197	15.675
<b>Costes Totales (€/kW)</b>	830,21	882,02	1021,66	1047,88	1045

Tabla 16. Tabla resumen de los costes fijos estimados para la instalación fotovoltaica.

## Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

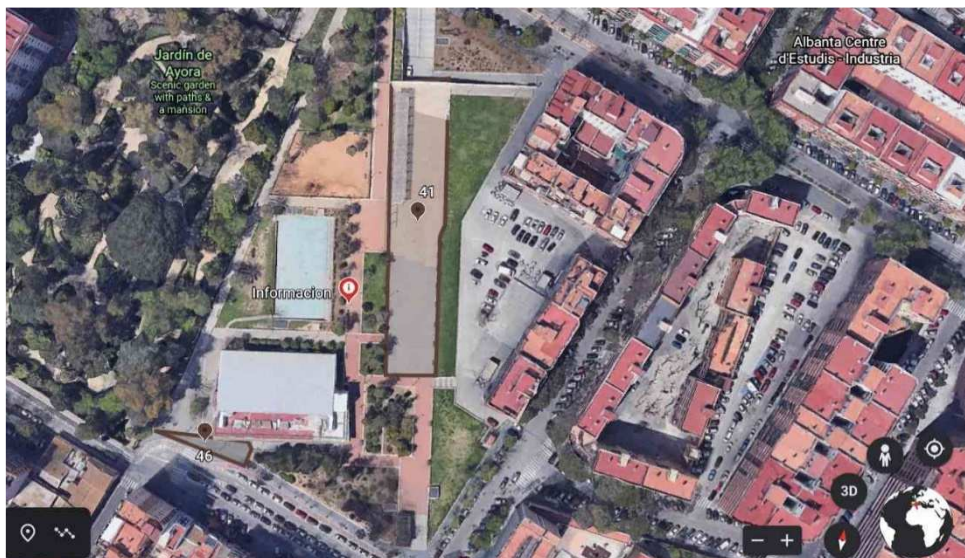
Con los costes fijos de proyectos de autoconsumo de distintas potencias introducidos en el programa HOMER junto a los costes de los paneles y el coste que supondrán las pérgolas sobre las que se instalarán los paneles fotovoltaicos, el programa generará una curva de costes que será aplicable a cualquier potencia de la instalación.

### 3.4.2 Inversor fotovoltaico.

Los inversores son los encargados de transformar la corriente continua generada por los paneles en corriente alterna, sincronizar la onda e inyectarla a la red. Como no sabemos el tamaño de nuestra instalación fotovoltaica, se ha buscado un inversor de 100 kW (límite de potencia para instalaciones de autoconsumo con compensación de excedentes) por internet y se han introducido sus características requeridas para la simulación del sistema fotovoltaico en el programa HOMER.

El inversor de 100 kW seleccionado ha sido el Inversor Huawei SUN2000-100KTL Trifásico 100kW, el cual cuenta con una eficiencia máxima del 98,8%. Una vez más, sus características y datos introducidos a HOMER son mostrados en el Anexo I.

### **3.5 Disposición de las pérgolas fotovoltaicas.**



*Figura 46. Superficie en la que serán localizadas las pérgolas. Parque de Ayora, Valencia. 46022. (Google Earth).*

Una vez sabemos la localización propuesta, los consumos a abastecer y las especificaciones de los paneles fotovoltaicos a implementar, proseguimos con las características de las pérgolas sobre las que serán instalados los paneles. Refiriéndonos a estas estructuras, existe una gran variedad de pérgolas utilizadas para instalar paneles solares en otras ciudades, donde podemos encontrar desde grandes obras arquitectónicas como la pérgola del Fòrum (Barcelona), construida en 2004, hasta antiguas pérgolas comunes adaptadas para instalar paneles solares en sus superficies.





*Figura 47. Pérgola del Fòrum construida en 2004 de 550kWp (Ayuntamiento de Barcelona, s. f)*

El tipo de pérgola a implementar en el parque afectará a la viabilidad económica de la instalación, además de otros factores como el tamaño, localización, características del suelo, etc., que afectarán a los costes de su construcción. En este trabajo, se considerará la construcción de pérgolas simples de acero y madera que permitan la instalación de paneles fotovoltaicos en sus superficies y aporten espacios de sombra al parque.

Con el objetivo de reducir la superficie en planta de las pérgolas y así reducir costes, las pérgolas tendrán unas cubiertas de dimensiones de 12,5 x 4,3 metros, una altura sobre el suelo de 3 metros en la parte más baja y una inclinación de la cubierta de 30°. Se han especificado estas dimensiones para integrar lo mejor posible los paneles seleccionados en las pérgolas dentro del parque, tal y como se verá más adelante.

Se ha elegido una inclinación de la cubierta de 30° para poder instalar los módulos en una inclinación adecuada sin tener que instalar soportes. Como los paneles serán instalados directamente en la pérgola con la misma inclinación, estos no proyectarán sombras entre sí, por lo que no será necesario añadir una separación entre cada fila de paneles

Si la cubierta de las pérgolas no estuviese inclinada, sería necesario una separación entre cada fila de paneles para evitar sombras durante el invierno, lo cual provocaría un aumento del tamaño necesario de la pérgola por KW y repercutiría negativamente en la rentabilidad de la instalación. Otra opción sería instalar los paneles a 0° de inclinación, pero se producirían pérdidas de irradiación considerablemente altas (+20%), reduciendo considerablemente la producción en los meses de invierno.

Una vez establecidas las medidas de las cubiertas de las pérgolas a implementar en el parque de Ayora, nos disponemos a averiguar las dimensiones necesarias para una pérgola de estas características:

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

- Tamaño de la cubierta de la pérgola (inclinación 30°):

$$Superficie_{cubierta} = Ancho_{cubierta}(12,5m) * Largo_{cubierta}(4,3m).$$

$$Superficie_{cubierta} = 53,75 m^2$$

Tamaño en planta de la pérgola (inclinación 30°):

$$Ancho_{planta} = 12,5 \text{ metros}$$

$$Largo_{planta} = 4,3 \text{ metros} * \cos(30^\circ)$$

$$Largo_{planta} = 3,73 \text{ metros}$$

- Rango de alturas de la pérgola (inclinación 30°):

$$H_{min} = 3 \text{ metros}$$

$$H_{max} = H_{min}(3m) + Largo_{planta}(3,73m) * \tan(30^\circ)$$

$$H_{max} = 5,15 \text{ metros}$$

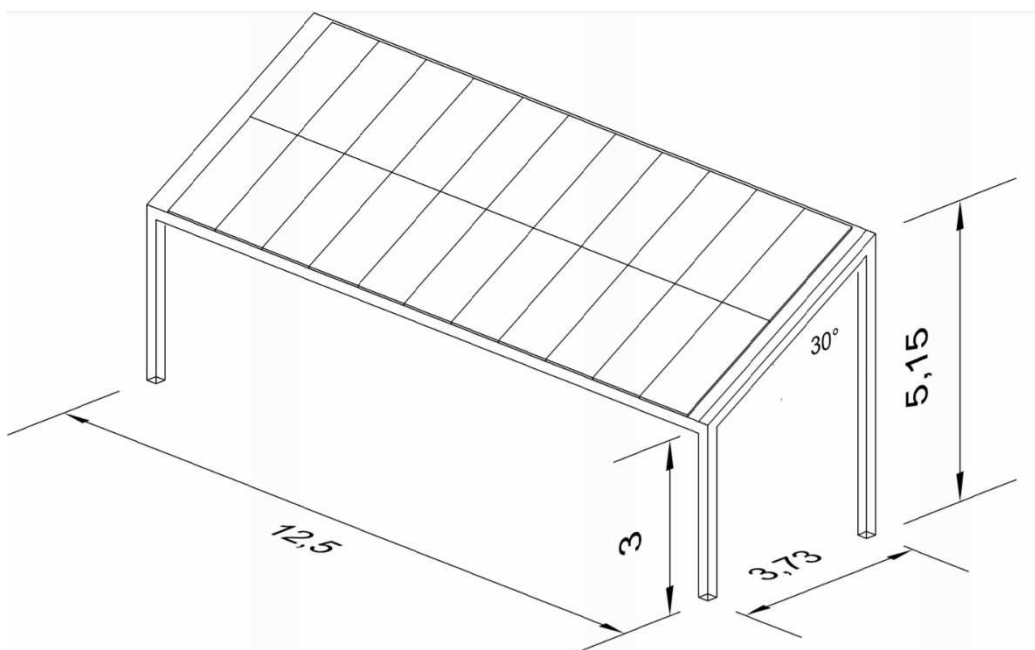


Figura 48. Configuración propuesta para las pérgolas a instalar en el parque de ayora. (AUTOCAD)

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

Sabiendo el tamaño de la cubierta de la pérgola seleccionada y el tamaño de cada panel fotovoltaico seleccionado (2115x1052mm), calculamos la potencia de instalación para cada pérgola fotovoltaica. Para ello, supondremos que los paneles fotovoltaicos serán colocados en posición vertical (1052x2115mm):

- Numero de filas de paneles para una pérgola con cubierta (12.50x4.30m) inclinada 30°.

$$Ancho_{cubierta}(12.5m) = N_{filas} * Ancho_{paneles}(1.052m)$$

$$N_{filas} \cong 11 \text{ paneles}$$

- Número de columnas de paneles para una pérgola con cubierta (12.50x4.30m) inclinada 30°.

$$Longitud_{cubierta}(4.3) = N_{columnas} * largo_{paneles}(2.115m)$$

$$N_{columnas} \cong 2 \text{ Paneles}$$

Para cada pérgola, tendremos un total de 11x2 paneles fotovoltaicos de 440 W. Esto supone un potencial fotovoltaico de **9.68 KWp** por pérgola. No ha sido necesaria calcular la distancia mínima entre paneles fotovoltaicos debido a la inclinación de la cubierta, que nos permite colocar los paneles a una buena inclinación sin espacios entre filas. Esta inclinación, si se quiere maximizar la producción fotovoltaica, deberá de ser ligeramente mayor (36°) para esta localización. Al tomarse una inclinación ligeramente menor que la ideal se producen pérdidas por irradiación, pero aun así estas serán menores del 5% en comparación a la recibida con una inclinación ideal. Para comprobar el porcentaje de pérdidas que se producirá según el ángulo de inclinación y orientación, se ha hecho uso de la siguiente figura obtenida del Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red (IDAE(2011)):

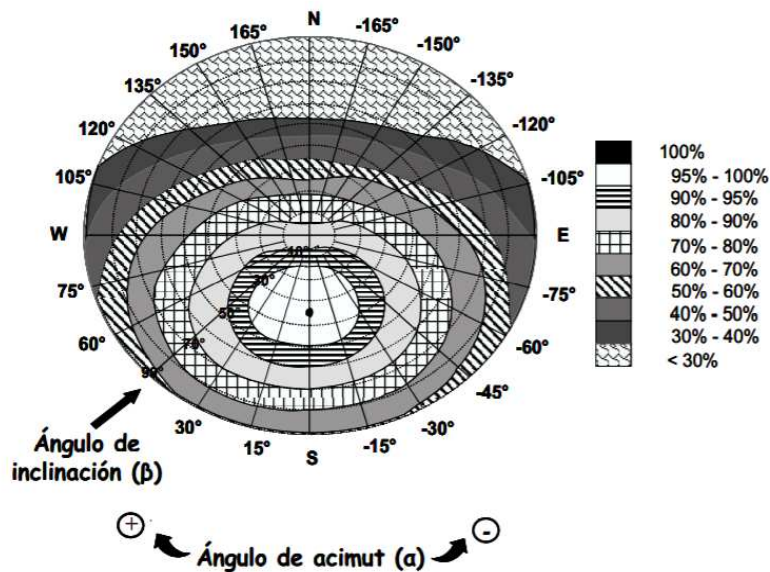


Figura 49. Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación e inclinación para una latitud de 41°. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red (IDAE), 2011.

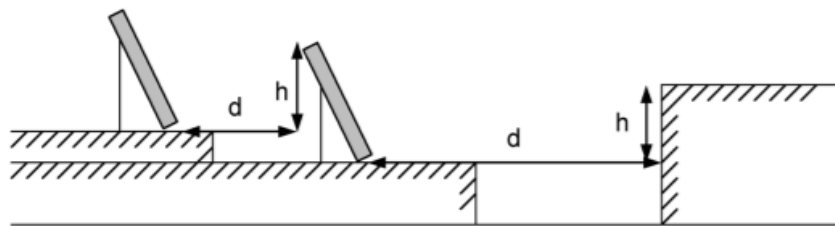


### 3.5.1 Separación mínima entre pérgolas.

Pese a no necesitar una separación entre cada fila de paneles, será necesaria una distancia mínima entre cada pérgola a implementar en la superficie del parque para así garantizar al menos 4 horas de sol en torno al mediodía del solsticio de invierno, tal y como se sugiere en el pliego, ya que cada pérgola propuesta presenta una altura máxima de 5,15 metros la cual incidirá sombras sobre la superficie del parque. Para averiguar esta distancia mínima, utilizaremos el mismo método que se recomienda en el pliego mencionado anteriormente. Este método es utilizado para hallar la distancia mínima entre paneles, pero se puede aplicar para hallar la separación necesaria entre las pérgolas propuestas.

Una vez hallemos la separación mínima necesaria entre pérgolas, podremos ubicarlas en la superficie del parque seleccionada y averiguar el potencial máximo de generación con la que abastecer los consumos públicos de los alrededores.

Los datos necesarios para hallar la distancia mínima entre pérgolas son la diferencia de altura entre la parte alta de una fila y la parte baja de la posterior ( $h$ ), y la latitud del lugar (Figura 50).



*Fig. 7*

*Figura 50. Distancia mínima a calcular entre dos filas de paneles. (Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red (IDAE), 2011)*

Siguiendo las recomendaciones del IDAE, la distancia mínima entre filas de paneles ha de ser como mínimo a  $h * k$ , siendo  $k$  un factor adimensional que depende de la latitud de la localización (39,46°) (Tabla 17).

Latitud	29°	37°	39°	41°	43°	45°
$k$	1,600	2,246	2,475	2,747	3,078	3,487

*Tabla 17. Valor de  $k$  según la latitud del lugar. (Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red (IDAE), 2011)*

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

La diferencia de alturas ( $h$ ) entre la parte más alta de la pérgola (5,15 m) y la más baja de la pérgola posterior (3 m), al estar ambas al mismo nivel del suelo será de 2,15 metros, y el factor  $k$  para una latitud de  $39,46^\circ$  podemos considerarlo como 2,475. Por tanto, la distancia mínima entre pérgolas será de:

$$d_{min} = k_{39^\circ}(2,475) * h(2,15 \text{ m}) = 5,3 \text{ metros}$$

Una vez sabemos la distancia mínima entre pérgolas, se proponen las siguientes ubicaciones para las pérgolas dentro de la superficie del parque de ayora seleccionada:

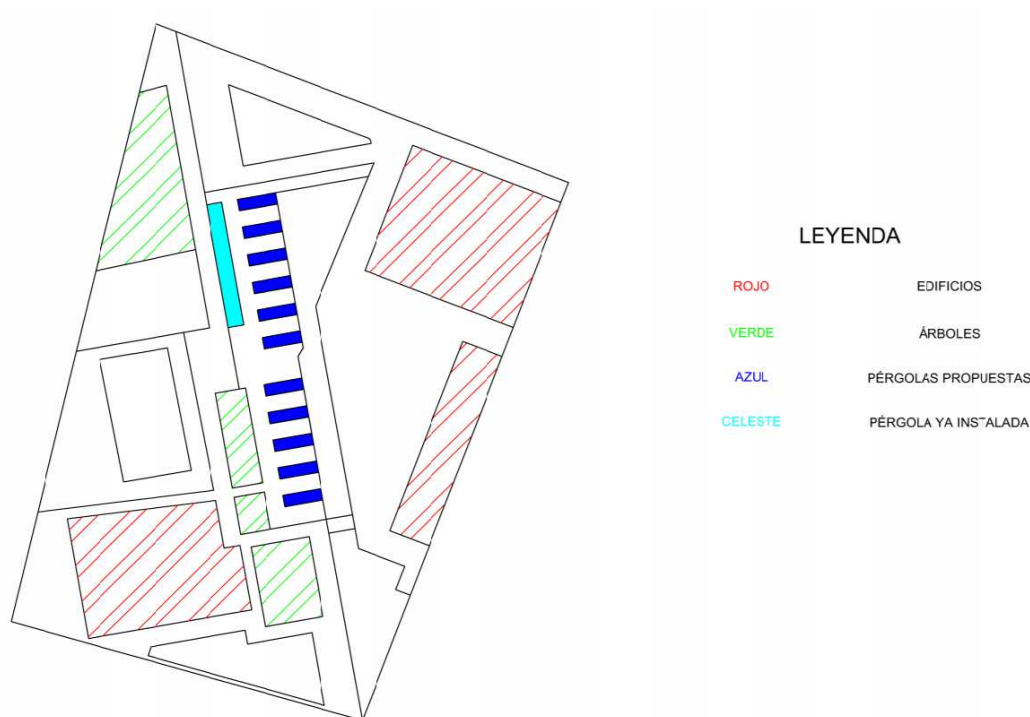


Figura 51. Plano 1. Ubicaciones propuestas para las pérgolas fotovoltaicas en el parque de ayora. (AUTOCAD)

Podemos observar que, en la superficie del parque seleccionada, se tiene una capacidad de hasta 11 pérgolas con las características y separaciones propuestas, llegando a un máximo de 106,48 kW de generación fotovoltaica en la superficie seleccionada. Con estas dimensiones, se consigue integrar correctamente las pérgolas fotovoltaicas en el parque.

### **3.6 Costes de Construcción de la pérgola.**

En base a otros presupuestos de pérgolas con fines similares y presupuestos consultados por internet se ha estimado un precio de construcción de cada pérgola entre 250 y 450€ por m<sup>2</sup> en planta. Debido a que el tipo de instalación que se quiere realizar no está normalizado, resulta complicado estimar los costes de estas estructuras. Se ha estimado un precio de construcción entre 250€ y 450€ por m<sup>2</sup> en base a los presupuestos de las pérgolas construidas en el jardín de Morvedre (Ayuntamiento de Valencia (2017)), y a presupuestos consultados online.

Esto es un valor estimativo ya que como se ha mencionado anteriormente, el precio de construcción de las pérgolas dependerá de diversos factores como el tipo de terreno, las obras necesarias para su instalación, el modelo de pérgolas seleccionado, etc.

Para realizar el dimensionado de la instalación con HOMER (anexo 1), asignaremos un coste a las pérgolas de 450€/m<sup>2</sup> para instalaciones de menor tamaño y de 250€/m<sup>2</sup> para una instalación de hasta 100 kW, refiriéndonos a la superficie en planta de la pérgola.

Sabiendo las dimensiones de las pérgolas y los kWp de cada una de ellas, podemos calcular sus costes de construcción por kW como:

$$\text{Costes Pérgolas} \left( \frac{\text{€}}{\text{kW}} \right) = \frac{S_{\text{base.pérgola}} (\text{m}^2) * \text{Coste} \left( \frac{\text{€}}{\text{m}^2} \right)}{9,68 \text{ kWp}}$$

Introduciremos estos costes en el programa HOMER junto a los referidos a los paneles fotovoltaicos y los costes estimados para el resto de componentes de la instalación, obtenidos de presupuestos de instalaciones de autoconsumo conectadas a red de potencias entre 20 kW y 100 kW.

### **3.7 Pérgola instalada en el parque de Ayora. Potencial fotovoltaico.**

Como se ha comentado anteriormente, dentro del parque podemos encontrar una pérgola instalada de 3 metros de altura, 40 metros de longitud y un ancho de 4.5 metros. Esta estructura se encuentra en buen estado y presenta buenas condiciones para instalar paneles fotovoltaicos, por lo que se procederá a calcular la potencia máxima instalable en esta superficie. Para ello, se calculará la distancia mínima entre cada fila de paneles de la misma forma que se ha calculado la distancia mínima entre pérgolas. Los paneles estarán inclinados 30°, manteniendo el mismo ángulo que la inclinación de la cubierta de las pérgolas, y una orientación de 10° hacia el este, tomando como referencia el sur (°0), ya que el parque está orientado en esa dirección. En este caso, los paneles serán colocados en posición horizontal (1052\*2115mm) para así reducir la distancia necesaria entre cada fila.

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia



Figura 52. Pérgola instalada en el parque de ayora (40m x 4.5m x 4m). (Google Earth).

- Distancia mínima entre paneles:

$$D_{min} = k(2,475) * 1,052 * \text{sen}(30^\circ) = 1,3 \text{ metros}$$

- Nº de paneles por columna (40m):

$$40 \text{ metros} + D_{min} = N_{filas} * (1,052 \text{ metros} + D_{min})$$

$$N_{filas} \cong 17 \text{ Paneles}$$

- Nº de paneles por fila (4.5m):

$$4,5 \text{ metros} = N_{columnas} * 2,115 \text{ metros.}$$

$$N_{columnas} \cong 2 \text{ Paneles}$$

Con una distancia mínima entre filas de 1,28 metros, se pueden instalar hasta un máximo de 17 filas de paneles con 2 paneles cada una, que hacen un total de 34 paneles. Si la potencia de los paneles fotovoltaicos a utilizar es de 440W, hacen un total de 14,96 KWp instalables en la cubierta. Si las condiciones estructurales de esta pérgola permiten la instalación de los módulos seleccionados, nos producirá ahorros en los costes de construcción de las pérgolas, por lo que el aprovechamiento de estas estructuras se deberá de priorizar siempre que las condiciones sean favorables para ello.

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

Con esto, disponemos de todos los datos necesarios para analizar la viabilidad económica de una instalación de autoconsumo de pérgolas fotovoltaicas ubicada en el parque de Ayora con la que abastecer consumos eléctricos del ayuntamiento de Valencia. Para realizar este análisis, haremos uso del programa HOMER, con el que se determinarán las dimensiones de la instalación y se obtendrán resultados económicos para cada caso de estudio propuesto.

### 3.8 Viabilidad económica de la instalación. HOMER 2.68

Una vez hallados todos los datos necesarios para dimensionar una instalación fotovoltaica en la ubicación propuesta, procedemos a realizar el dimensionado de la instalación con el software HOMER 2.68.

Desde esta localización, se podrían abastecer los consumos eléctricos de los siguientes edificios públicos mostrados en la tabla 18. Se pueden encontrar otras instituciones a las que acoger la instalación propuesta, pero se han seleccionado los siguientes 6 edificios por ser los de mayor consumo eléctrico localizados en la zona.

Consumo eléctrico	kWh/año	Consumo P1(kWh)	Consumo P2(kWh)	Consumo P3(kWh)
<i>CENTRO DE EMPLEO</i>	<i>129.255</i>	<i>38.324</i>	<i>59.208</i>	<i>31.723</i>
<i>CENTRO COORD.JUVENTUD</i>	<i>204.239</i>	<i>66.344</i>	<i>99.661</i>	<i>38.234</i>
<i>C.P. EXPLORADOR ANDRES</i>	<i>45.560</i>	<i>10.155</i>	<i>27.274</i>	<i>8.131</i>
<i>C.P. ANTONIO GARCIA LOPEZ</i>	<i>37.575</i>	<i>8.711</i>	<i>23.399</i>	<i>5.465</i>
<i>C.P. SANTIAGO GRISOLIA</i>	<i>62.093</i>	<i>13.485</i>	<i>36.935</i>	<i>11.673</i>
<i>C.P.M. ADLERT NOGUEROL</i>	<i>84.072</i>	<i>19.954</i>	<i>52.289</i>	<i>11.829</i>
<b>Total</b>	<b>562.794</b>	<b>156.973</b>	<b>298,766</b>	<b>107.055</b>

Tabla 18. Consumos públicos localizados a menos de 500 metros del parque de Ayora.

Para analizar la viabilidad de la instalación ha sido necesario obtener los datos de irradiación y temperaturas ambiente de la localización, sobre las que han sido restadas las pérdidas de irradiación producidas por los edificios cercanos; se han obtenido las curvas de consumo de los edificios a los que se pretende abastecer; se han seleccionado los módulos fotovoltaicos e inversores y se ha determinado la capacidad máxima instalable en la superficie seleccionada.

La instalación de autoconsumo propuesta estará acogida a la compensación por excedentes regulada por el Real Decreto 249/2019, por lo que la potencia máxima a la salida del inversor será de 100 kW, mientras que la potencia máxima de los módulos fotovoltaicos para la superficie del parque seleccionada será de 121,44 KW, producto de la instalación de 11 pérgolas fotovoltaicas de 9,68 kW junto a los 14,96 KW de capacidad instalable en la pérgola del parque ya instalada.

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

A continuación, se introducen estos datos en el programa HOMER, el cual realiza simulaciones a partir de estos datos contemplando las combinaciones posibles y determinaremos la mejor opción a partir del payback o plazo de recuperación, calculado como el cociente de la inversión inicial de cada opción y la diferencia del coste operacional en caso de consumir sólo de la red (sin instalación fotovoltaica) y el coste operacional de la opción evaluada:

$$Payback = \frac{Inversión\_inicial_i}{Coste\_Op_{red} - Coste\_Op_i}$$

En el Anexo I se muestran todos los pasos seguidos en HOMER para la realización de las simulaciones con las que se obtendrá el dimensionado de la instalación, mientras que en esta memoria se muestran los resultados obtenidos de las simulaciones para las diferentes propuestas realizadas.

En primer lugar, se realizó el análisis de la instalación fotovoltaica propuesta para abastecer el consumo eléctrico del centro de empleo (129.255 kWh anuales), ya que en este edificio no se dispone de una cubierta lo suficientemente grande para una instalación de autoconsumo acorde a sus gastos eléctricos anuales, por lo que una instalación de autoconsumo en espacio público permitiría aumentar la generación fotovoltaica del edificio. Los resultados obtenidos con el programa determinan que para esta instalación la opción más rentable es instalar 7 pérgolas fotovoltaicas junto a la potencia disponible en la pérgola ya existente (82,72 kW totales).

Una vez obtenidos los primeros resultados, se decide realizar el análisis de un consumo eléctrico mayor con el objetivo de aprovechar la mayor superficie posible del parque. Al aumentar el consumo eléctrico a abastecer, el dimensionado de la instalación será mayor y los costes totales por kW instalado se verán reducidos, mejorando la rentabilidad de la instalación. Al realizar las simulaciones con HOMER para el abastecimiento del centro de coordinación de juventudes (204.239 kWh anuales), se obtiene que la opción más rentable es aprovechar la superficie del parque instalando 9 pérgolas fotovoltaicas junto a un inversor de 85 kW, haciendo un total de 102 kW en módulos fotovoltaicos.

A continuación, se decide realizar las simulaciones de la instalación propuesta para el autoconsumo colectivo de los 4 colegios cercanos (229.300 kWh anuales en total) observando que al aumentar el potencial fotovoltaico a la máxima capacidad disponible del parque (121,44 kW), el periodo de retorno de la inversión mejora respecto al estimado para el centro de coordinación de juventudes al estar consumiendo mayor energía en periodos de generación eléctrica. Finalmente, se realizan las simulaciones de la instalación para todos los consumos eléctricos cercanos con el objetivo de reducir al máximo posible la energía vertida a la red eléctrica y comprobar como afecta esto a la rentabilidad de la instalación

En los siguientes apartados se muestran los resultados obtenidos para cada caso propuesto:

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

3.8.1 Instalación de autoconsumo individual para el centro de ocupación y formación.

El primer caso planteado fue el de abastecer únicamente los consumos del centro de ocupación y formación (Figura 54), ya que este no dispone de cubierta suficiente para una instalación acorde a sus consumos anuales. Introduciendo sus correspondientes datos tal y como se muestra en el anexo I, obtenemos los siguientes resultados de las simulaciones en HOMER 2.68.

*Centro de ocupación y formación.*

- Dirección: Calle leones 9, 46022 Valencia
- 39.4652582 N; -0.3487583 E
- Consumo anual (kWh): 129.255 kWh
- Tarifa de acceso: 3.1A.



Figura 54. Centro de ocupación y formación. (Google Earth)

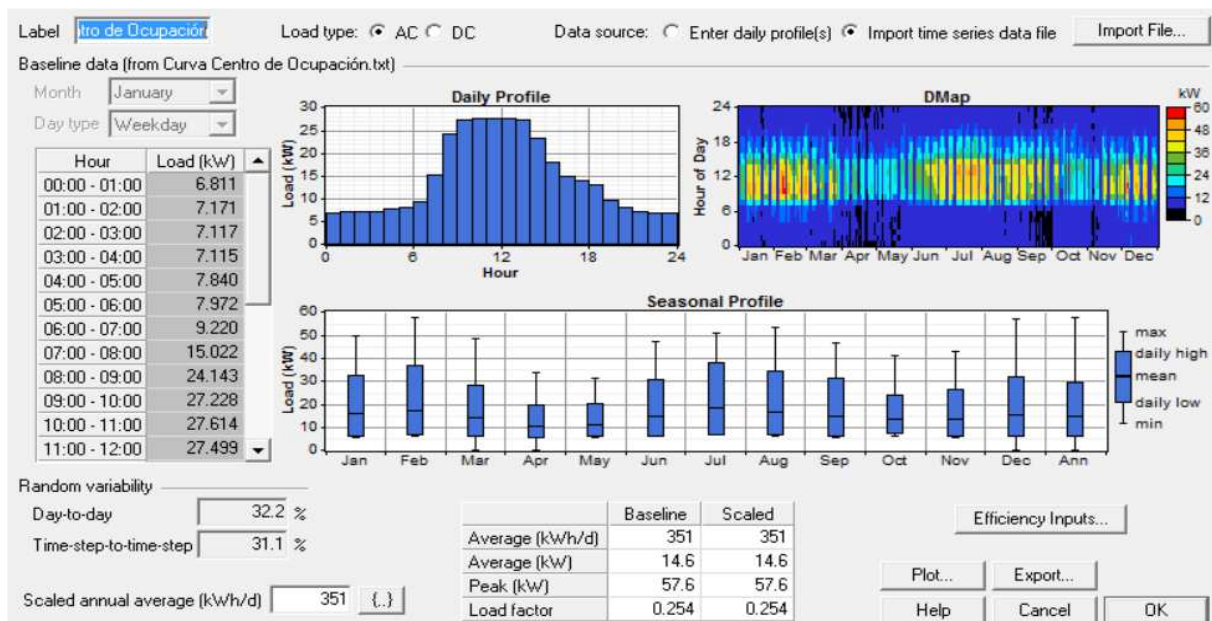


Figura 53. Curva de carga del centro de ocupación y formación. (HOMER 2.68)

Si se quisiera diseñar la instalación fotovoltaica para abastecer únicamente al centro de ocupación y formación, la opción con menor payback estimado por el programa HOMER será una instalación de 73.04 kW con un inversor de 60 kW. Con esta configuración, el plazo de retorno de la inversión sería de 15,8 años, generándose el 70% de la electricidad consumida por este edificio.



Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

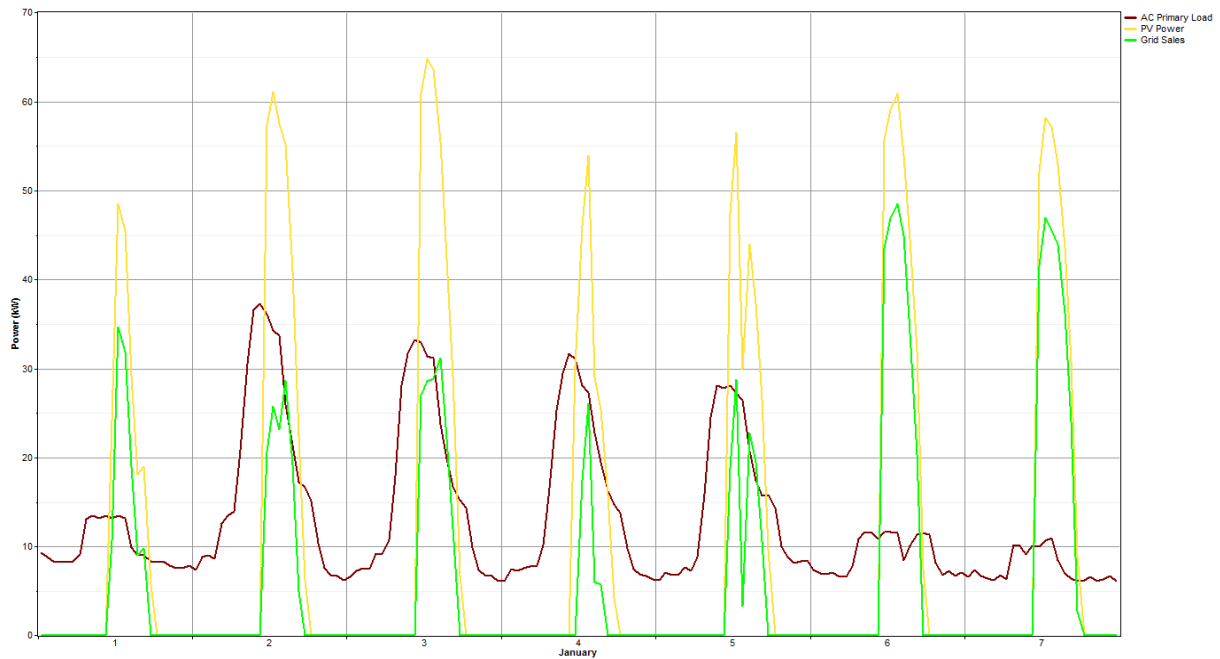


Figura 56. Consumo del centro de ocupación (rojo), potencia fotovoltaica (amarillo) y ventas de excedentes a la red (verde) simuladas para una semana de enero. (HOMER 2.68)

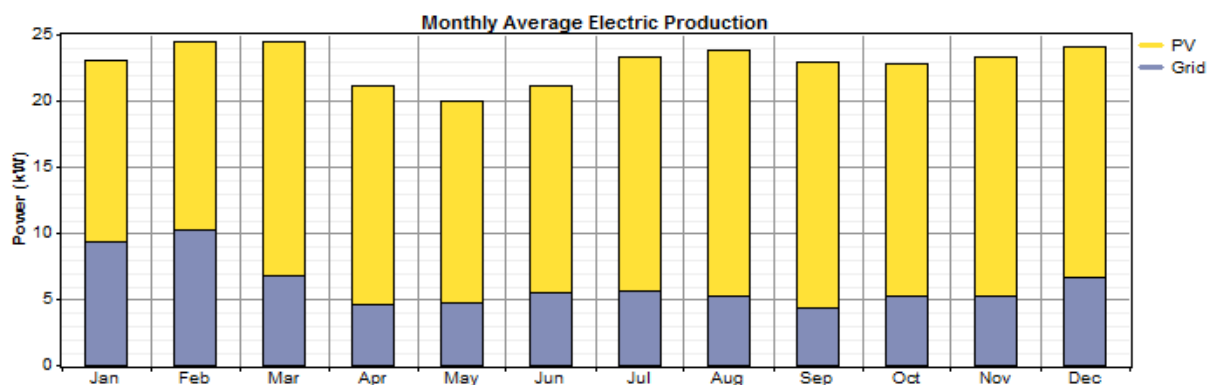


Figura 55. Generación fotovoltaica mensual y consumos de red estimados para la instalación fotovoltaica propuesta. (HOMER 2.68)

- Coste del ciclo de vida (NPC) de la instalación durante los 25 años de funcionamiento: 257.372,00 €
- Coste del ciclo de vida de la red (sin la instalación de pérgolas fotovoltaicas): 274.451,00 €  
Estos dos factores se han calculado con un interés anual del 3%, estimando unos beneficios al final del ciclo de vida de la instalación de 17.079,00 €.
- Coste de operación de la instalación fotovoltaica: 5.181 €/año.
- Coste de operación de la red (sin instalación fotovoltaica): 15.761€/año.
- Plazo de retorno de la inversión: 15,8 años.

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

	Consumo anual (kWh)	Nº de pérgolas	kWp instalados	Inversión Inicial (€)	Energía vendida a la red (kWh/año)	Energía comprada a la red (kWh/año)	% Gen.FV
<i>Centro de Ocupación y Formación. Consumo de red</i>	129,255	-	-	-	-	129.255	-
<i>C. de Ocupación con instalación fv.(Comp. excedentes)</i>	-	6	83	167.152	55.253	55.561	0,70

*El porcentaje de Generación fotovoltaica ha sido calculado como:  $\%Gen. FV = \frac{E_{gen}}{E_{aen} + E_{red}}$*

*Tabla 19. Tabla resumen de los resultados de las simulaciones para el centro de ocupación con HOMER2.68.*

La compensación por excedentes a la que se acoge la instalación permite mejorar la rentabilidad de la instalación considerablemente, vendiendo a la red el 30% de la electricidad total generada. Con esta instalación se reducirían 73.694 kWh anuales consumidos de la red, y serían necesarias 6 pérgolas fotovoltaicas dentro del parque, además de los 14,96 kWp disponibles en la cubierta de la pérgola ya instalada.

Para esta instalación, el programa estima una generación anual de 129.395 kWh.

Como podemos ver, con esta instalación se pueden obtener tanto beneficios sociales como económicos, al aportar espacios de sombra al parque de Ayora y ahorrar costes en la factura de la luz. Sin embargo, en la superficie del parque seleccionada cabe la posibilidad de instalar más pérgolas fotovoltaicas, por lo que el siguiente caso propuesto y analizado con HOMER fue el abastecimiento de esta instalación para el centro de coordinación de juventudes, ya que este edificio presenta consumos eléctricos mayores que nos permitirá diseñar una instalación de mayor tamaño y obtener mayores beneficios económicos.

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

3.8.2 Instalación de autoconsumo individual para el centro de coordinación de Algirós.

- Dirección: Calle Campoamor 91, 46022 Valencia
- 39.46906 N; -0.340200 E
- Consumo anual (kWh): 204.239 kWh
- Tarifa de acceso: 3.1A.



Figura 58. Centro de coordinación de juventudes de Algirós. (Google Earth).

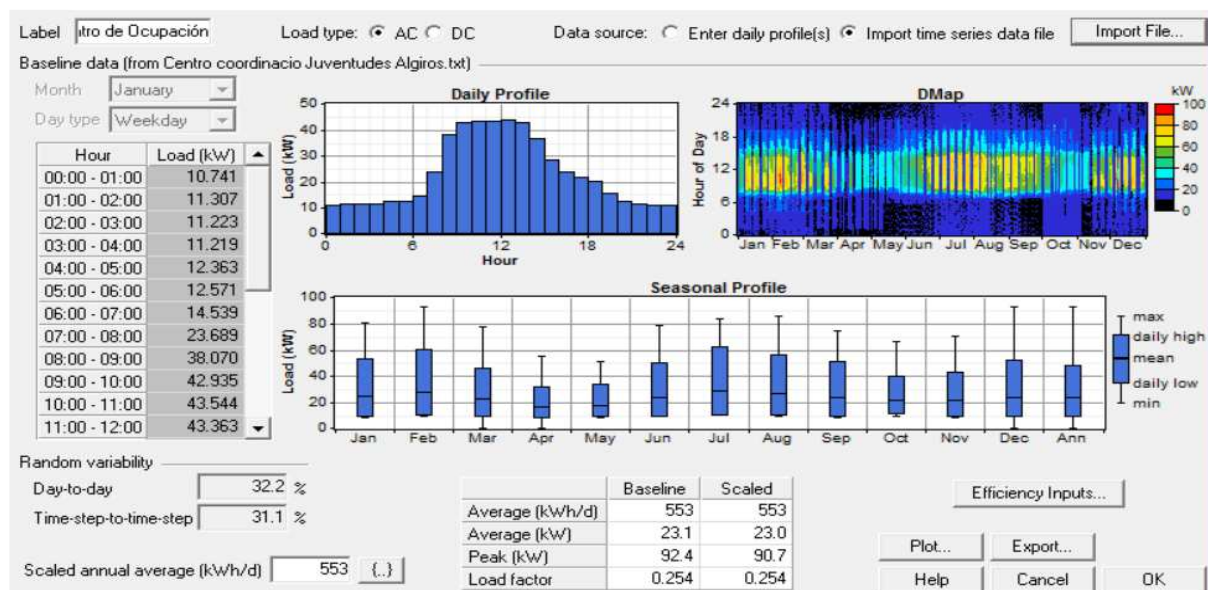


Figura 57. Curva de carga del centro de coordinación de juventudes. Imagen obtenida de HOMER 2.68

Si se dimensiona la instalación fotovoltaica para el centro de coordinación de juventudes, la opción con menor payback estimada por HOMER es la de una instalación de 102kWp y un inversor de 85 kW. Esta instalación supondría una inversión inicial de 213.230,00 €, la cual tendría una tasa de retorno de 13,65 años, generando una fracción renovable del 66.5% respecto al consumo total y se reducirían 110.873 kWh anuales consumidos de la red eléctrica.

- Coste del ciclo de vida (NPC) de la instalación fotovoltaica (25 años): 373.711,00 €
  - Coste de ciclo de vida de la red (sin la instalación fotovoltaica): 432.400,00 €
- Estos dos factores han sido calculados por el programa con un interés anual del 3%, estimando unos beneficios al final del ciclo de vida de la instalación de 58.689,00 €

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

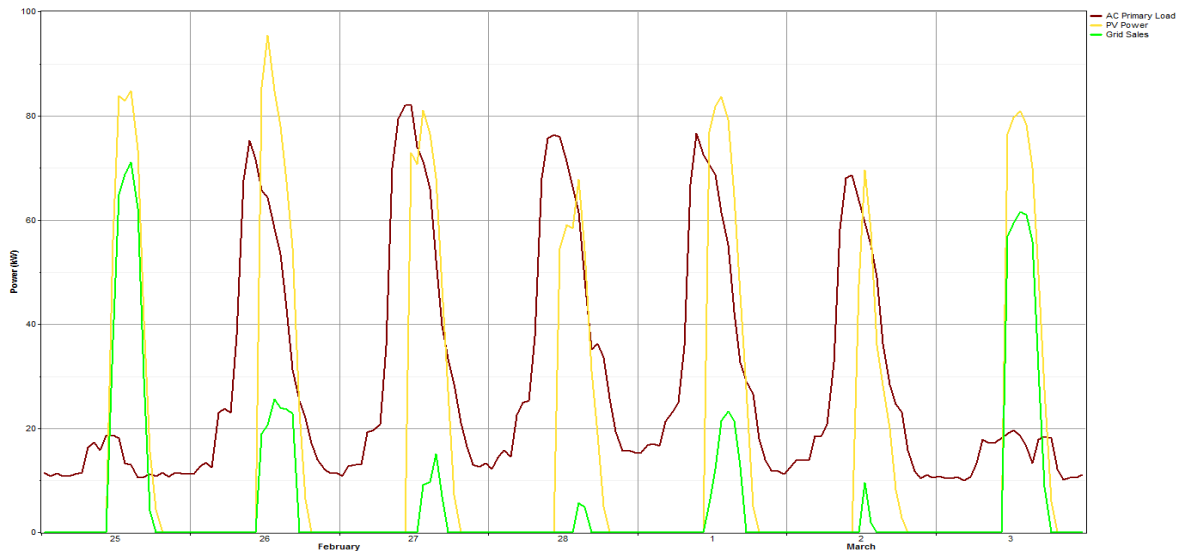


Figura 59. Consumo del centro de coordinación juvenudes. (rojo), potencia fotovoltaica (amarillo) y ventas de excedentes a la red (verde) simuladas para la última semana de febrero. (HOMER 2.68)

- Coste de operación de la instalación fotovoltaica: 9.216 €/año.
- Coste de operación de la red (sin instalación FV): 24.832 €/año.
- Plazo de retorno de la inversión: 13,65 años.

Como podemos observar, si se diseña la instalación fotovoltaica con el único fin de abastecer el centro de coordinación de juvenudes, la opción con mayor rentabilidad calculada por HOMER es una instalación de 102 kW fotovoltaicos junto a un inversor de 85 kW, que supondría la instalación de 9 pérgolas fotovoltaicas además del aprovechamiento de la existente en el parque.

Esta instalación tiene un menor periodo de retorno respecto a la diseñada para el centro de ocupación debido a que ambas presentan la misma distribución horaria de consumos, pero el gasto eléctrico del centro de juvenudes es mayor, lo que provoca un aumento del tamaño ideal de la instalación fotovoltaica que reduce los costes por kW, genera más electricidad y mejora la rentabilidad de esta.

	Consumo anual (kWh)	Nº de pérgolas	kWp instalados	Inversión Inicial (€)	Energía vendida a la red (kWh/año)	Energía comprada a la red (kWh/año)	% Gen.FV
<i>Centro Coord. Juventudes. Consumo de red</i>	204.239	-	-	-	-	204.239	-
<i>Centro Coord. Juventudes con instalación fv. (Comp.excedentes)</i>	-	9	102	213,230	67.882	90.970	0,665

El porcentaje de Generación fotovoltaica ha sido calculado como:  $\%Gen.FV = \frac{E_{gen}}{E_{gen}+E_{red}}$

Tabla 20. Tabla resumen de los resultados de las simulaciones para el centro de coordinación de juvenudes con HOMER2.68.

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

Únicamente diseñando la instalación fotovoltaica para el abastecimiento del edificio de mayor consumo localizado en un radio de 500 metros, esta estará muy cercana al límite de potencia fotovoltaica disponible en la superficie del parque de 121,44 kW, que a su vez estará limitada en el inversor a una salida de 100 kW (límite de potencia para instalaciones de autoconsumo con compensación de excedentes). Para el abastecimiento de consumos eléctricos mayores se pueden plantear instalaciones fotovoltaicas de mayor potencia, pero estas no podrán estar acogidas a la compensación de excedentes y deberán de vender la energía excedente registrándose como instalaciones generadoras, suponiendo una tramitación de mayor complejidad y que conlleva mucho más tiempo. Además, se tendrán que pagar los impuestos correspondientes de generación y el peaje de acceso a la red por la energía que vendan a la distribuidora, afectando considerablemente a la rentabilidad de la instalación, por lo que actualmente no es una opción recomendable realizar instalaciones de autoconsumo con excedentes de más de 100 kW.

A continuación, procedemos a realizar el dimensionado de la instalación para el abastecimiento de los 4 colegios seleccionados, observando que la opción más rentable es instalar la máxima capacidad disponible en el parque junto al inversor de 100 kW. Al llegar al límite de potencia, la generación fotovoltaica de esta ubicación será la máxima posible. Al consumo de estos colegios se les añadirán posteriormente los gastos eléctricos del centro de empleo y del centro de coordinación con el fin de ver como afecta a la rentabilidad de la instalación la adición de otros consumos eléctricos a los que abastecer, pese a que esta esté limitada en la potencia máxima.

3.8.3 Instalación de autoconsumo colectivo para los colegios cercanos seleccionados.

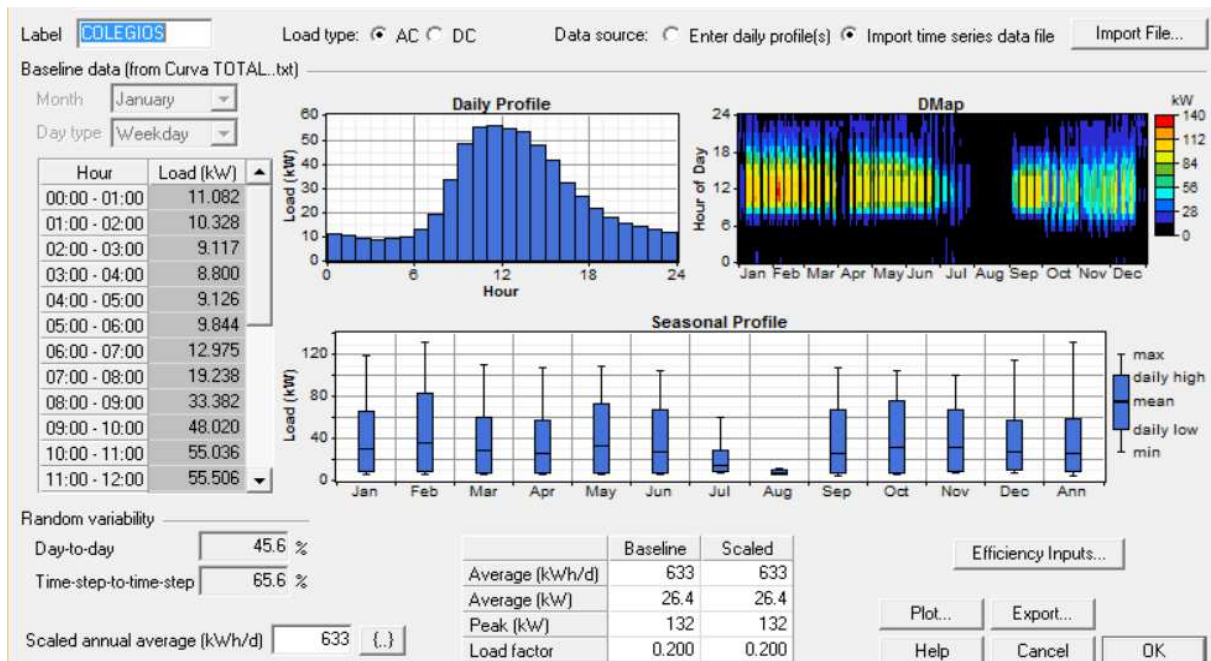


Figura 60. Curva de carga del conjunto de los colegios Adlert Noguerol, Prof. Grisolia, Antonio García y Exp. Andrés. (HOMER 2.68)

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

En cuanto al diseño de la instalación de autoconsumo si se quisiera abastecer los consumos de los 4 colegios seleccionados, debido a sus distribuciones de carga similares y a que en conjunto consumen más electricidad que el centro de coordinación de juventudes, la instalación recomendada por el programa será la máxima permitida de 121,44 kWp junto a un inversor de 100 kW. La rentabilidad de esta instalación vuelve a mejorar con un payback de 13,45 años.

- Coste del ciclo de vida (NPC) de la instalación fotovoltaica (25 años): 431.748,00 €
  - Coste de ciclo de vida de la red (sin la instalación fotovoltaica): 503.511,00 €
- Estos dos valores han sido calculados con un interés anual del 3%, estimando unos beneficios al final del ciclo de vida de la instalación de 71.763,00 €.
- Coste de operación de la instalación fotovoltaica: 10.790 €/año.
  - Coste de operación de la red: 28.916 €/año.
  - Plazo de retorno de la inversión: 13,45 años.

	Consumo anual (kWh)	Nº de pérgolas	kWp instalados	Inversión Inicial (€)	Energía vendida a la red (kWh/año)	Energía comprada a la red (kWh/año)	% Gen.FV
4 colegios Consumo de red	229,301	-	-	-	-	229,301	-
4 colegios instalación fv. Propuesta (Comp.excedentes)	-	11	121.44	243,860	86,244	104,763	0.673

El porcentaje de Generación fotovoltaica ha sido calculado como:  $\%Gen.FV = \frac{E_{gen}}{E_{gen}+E_{red}}$

Tabla 21. Tabla resumen de los resultados de las simulaciones para los colegios cercanos con HOMER2.68

En la figura 61, podemos ver la potencia fotovoltaica media de cada mes junto a la potencia consumida de la red para una instalación de autoconsumo de 121.44 KW para los cuatro colegios seleccionados con anterioridad.

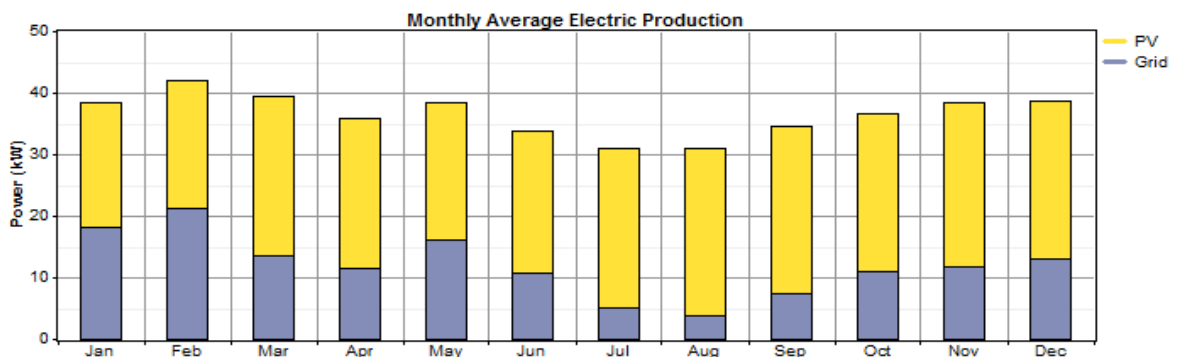


Figura 61. Generación fotovoltaica mensual y consumos de red estimados para la instalación fotovoltaica propuesta. (HOMER2.68)



Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

Al estar abasteciendo los consumos eléctricos de 4 colegios, esta instalación fotovoltaica sería regulada como una instalación de autoconsumo colectiva, modalidad permitida y regulada por el Real Decreto 249/2019.

Como se están abasteciendo más de un consumo público, el excedente de electricidad vertido a la red que después será compensado es menor que si se abasteciese a solo un edificio, ya que el consumo en el mismo periodo de generación fotovoltaica ha sido aumentado. Por tanto, cuantos más consumos estén adheridos a la misma instalación fotovoltaica, menos excedentes producirá la instalación y más rentable será esta, siempre que la distribución de los consumos coincida con periodos de generación fotovoltaica.

Si los consumos se producen en horarios nocturnos, estos no podrán ser directamente abastecidos por la instalación fotovoltaica, por lo que no mejorarán la rentabilidad de la instalación. A continuación, se muestra una tabla resumen de las tres instalaciones de autoconsumo propuestas para los tres diferentes consumos propuestos:

		Consumo anual (kWh)	FV (kW)	Inv.Inicial (€)	Payback (años)	% Gen.FV	NPC_red - NPC_instalación.FV
<b>Autoconsumo individual</b>	<i>C. Ocupación y formación.</i>	129.255	73,04	167.152	15,80	70,0	17.079 €
	<i>C. Coord. Juventudes</i>	204.239	102,00	213.230	13,65	66,5	58.689 €
<b>Autoconsumo colectivo</b>	<i>Colegios Cercanos</i>	229.300	121,44	243.860	13,45	67,3	71.763 €

*NPC\_instalación.FV = Coste neto total de la instalación fotovoltaica durante los 25 años de funcionamiento previstos, considerando un interés anual del 3%.*

*NPC\_red = Coste neto total de la red durante 25 años de funcionamiento, considerando un interés anual del 3%.*

*Tabla 22. Tabla resumen de los resultados de las simulaciones con HOMER2.68*

Tal y como podemos ver, al acoger la instalación a consumos más grandes se obtienen mayores beneficios económicos. De las tres opciones propuestas, el caso más favorable es diseñar la instalación fotovoltaica para abastecer los consumos de los 4 colegios seleccionados, lo que supondría aprovechar toda la superficie del parque de ayora seleccionada. Sin embargo, con esta instalación se producirían unos excedentes de energía vertidos a la red del 27%, que, pese a ser compensados económicamente, lo hacen a un valor mucho menor que el pagado por consumir la misma energía, por lo que sigue existiendo un margen de mejora de la rentabilidad de la instalación. A continuación, se han realizado las simulaciones en HOMER de la instalación de 121,44 kW para el abastecimiento colectivo de todos los consumos eléctricos cercanos, con el objetivo de mostrar como mejora la rentabilidad de la instalación al reducir los excedentes vertidos a la red.



## Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

### 3.8.4 Autoconsumo colectivo de la instalación fotovoltaica.

Tal y como se ha visto, las tres instalaciones fotovoltaicas propuestas anteriormente son viables económicamente, recuperándose la inversión a los 13,45 años en el mejor de los casos propuestos. Sin embargo, sigue existiendo un margen de mejora en la rentabilidad de la instalación considerable. Es por ello que se propone abastecer con la misma instalación fotovoltaica de 121kWp a más de uno de estos tres consumos propuestos a la vez.

Si con esta instalación de autoconsumo se abasteciesen los consumos de los colegios seleccionados, junto a los del centro de ocupación y formación, podemos comprobar como la energía excedente vendida a la red se ve considerablemente reducida, produciéndose esta principalmente durante los días de inactividad laboral como los fines de semana y festivos, donde el consumo en estos edificios es mucho menor. En la figura 62 mostrada a continuación podemos ver la simulación de las curvas de consumo, producción fotovoltaica y venta a la red para una semana de abril si se abasteciesen los consumos de los colegios junto al centro de ocupación con una instalación fotovoltaica de 121,44 kWp.

Esta instalación producirá anualmente la misma energía que la diseñada para abastecer los 4 colegios ya que ambas están limitadas a 100 kW en el inversor. Sin embargo, al estar abasteciendo un mayor consumo, el tiempo de retorno de la inversión se reduce en más de un año respecto a la instalación anterior, aunque esto también provoca que el porcentaje de generación fotovoltaica se vea reducido.

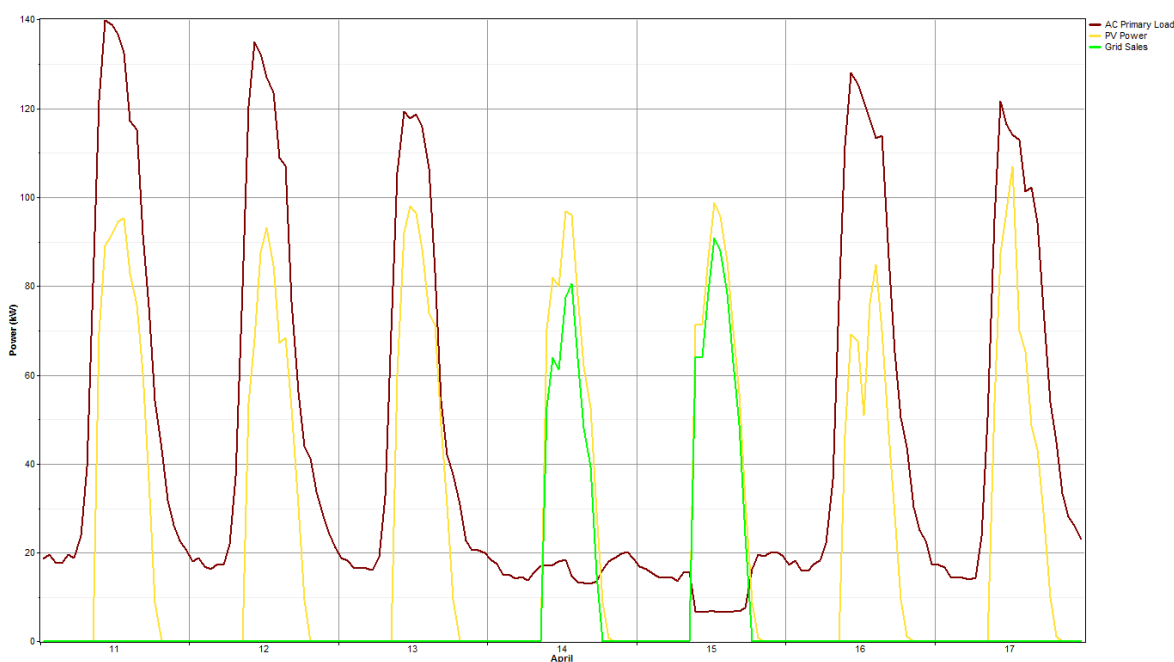


Figura 62. Consumo del centro de ocupación junto a los 4 colegios seleccionados. (rojo), potencia fotovoltaica (amarillo) y ventas de excedentes a la red (verde) simuladas para la instalación fotovoltaica propuesta. (HOMER2.68)

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

Añadiendo el consumo del centro de empleo junto a los 4 colegios, con la misma instalación de 121,44 kW el excedente de electricidad vertido a la red se ve reducido del 27% al 13% respecto a la producción total de la instalación, produciéndose principalmente durante los días festivos del año. Si volvemos a aumentar los consumos a abastecer con esta instalación fotovoltaica añadiendo los consumos eléctricos de demás edificios seleccionados, lograremos reducir el excedente de energía vertido a red hasta ser prácticamente nulo. Tal y como veremos más adelante, cuando este excedente llegue al mínimo se obtendrá la máxima rentabilidad de la instalación, aunque el porcentaje de generación fotovoltaica se verá considerablemente reducido.

### 3.9 Resultados de las simulaciones con HOMER para los casos propuestos.

A continuación, se muestra una tabla resumen con las diferentes opciones de autoconsumo colectivo planteadas para una instalación fotovoltaica conectada a red con excedentes localizada en el parque de Ayora, con el fin de abastecer los consumos eléctricos municipales localizados en un radio de 500 metros. Esta instalación estará regulada por el Real Decreto 244/2019.

		Consumo anual (kWh)	Potencia instalada (kW)	Inv.Inicial (€)	Payback (años)	% Gen.FV	NPC_red - NPC_I.FV
<b>Autoconsumo individual</b>	<i>C. Ocupación y formación.</i>	129.255	73,04	167.152	15,80	70,0%	17.079 €
	<i>C. Coord. Juventudes</i>	204.239	102,00	213.230	13,65	66,5%	58.689 €
<b>Autoconsumo colectivo</b>	<i>Colegios Cercanos</i>	229.300	121,44	243.860	13,45	67,3%	71.763 €
	<i>C. Ocupación + Colegios Cercanos</i>	358.555	121,44	243.860	11,65	52,0%	120.545 €
	<i>C.Coord Juventudes + Colegios Cercanos</i>	433.539	121,44	243.860	11,15	45,0%	136.947 €
	<i>C.Coord Juventudes C. Ocupación + Colegios Cercanos</i>	562.794	121,44	243.860	10,58	36,0%	157.182 €

*NPC\_instalación.FV = Coste neto total de la instalación fotovoltaica durante los 25 años de funcionamiento previstos, considerando un interés anual del 3%.*

*NPC\_red= Coste neto total de la red durante 25 años de funcionamiento, considerando un interés anual del 3%.*

*Tabla 23. Tabla resumen de los resultados de las simulaciones realizadas con HOMER para una instalación fotovoltaica en el parque de ayora.*

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

Tal y como se ha comentado anteriormente, la rentabilidad de la instalación fotovoltaica mejora al agregar consumos a abastecer, pero el porcentaje de generación renovable se ve reducido considerablemente. Según las estimaciones realizadas con HOMER, la opción con mayores beneficios económicos será adherir todos los consumos localizados con anterioridad a la instalación de 121, 44 KWp, estimando unos beneficios finales de 157.812,00 € en los 25 años de vida útil de la instalación fotovoltaica. Con esta configuración, el excedente de energía vertido a red será menor del 3%, produciéndose únicamente en los días festivos del calendario, por lo que añadir más consumos eléctricos a la instalación no mejorará significativamente la rentabilidad de la instalación y provocará una reducción del porcentaje de abastecimiento con fuentes renovables de las instituciones seleccionadas.

Se podría plantear una instalación fotovoltaica de mayor tamaño para abastecer estos consumos, pero esta no podría estar acogida a la compensación de excedentes y complicaría la tramitación de la instalación, que además necesitará un centro de transformación para instalaciones de potencias superiores a 100 kW, lo cual afectará negativamente a su rentabilidad y dificultará el desarrollo de la instalación. Con una instalación de estas dimensiones, el programa HOMER ha estimado una generación fotovoltaica anual de 215.139 kWh y una reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> de 6.13 Toneladas anuales, según los factores propuestos por los Ministerios de Industria, Energía y Turismo, y el Ministerio de Fomento (2016).

La generación fotovoltaica obtenida con HOMER supone una disminución del 11% respecto al potencial fotovoltaico calculado en el capítulo II para esta misma superficie. Estas diferencias se deben principalmente al aprovechamiento de la superficie del parque, ya que para la estimación del potencial fotovoltaico en el capítulo 2 se consideró un aprovechamiento del 50% de la superficie seleccionada, mientras que en este análisis la superficie final aprovechada con paneles fotovoltaicos ha sido menor del 30%.

Tal y como se mencionó con anterioridad, el método utilizado en el capítulo 2 se trata de una aproximación en bruto del potencial fotovoltaico disponible en espacio público de las 280 ubicaciones seleccionadas, mientras que el resultado obtenido con el programa HOMER para esta localización en concreto resulta en un valor más exacto al tenerse en cuenta un mayor número de factores que afectan a la producción fotovoltaica.

<b><i>Generación fotovoltaica estimada por HOMER</i></b>	<b><i>Generación fotovoltaica estimada en el capítulo II</i></b>	<b><i>Error(%)</i></b>
215.139	241.970	11,08

Tabla 24. Generación fotovoltaica estimada para la superficie del parque de Ayora seleccionada.

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

Con los resultados finales obtenidos, hemos comprobado la viabilidad económica de la instalación propuesta para el parque de Ayora. El análisis realizado para este caso no se puede considerar representativo para todas las ubicaciones de la ciudad de Valencia propuestas, ya que la viabilidad de una instalación de estas características dependerá de diversos factores relacionados con su entorno, por lo que se debe de estudiar individualmente cada una de las ubicaciones propuestas. Aun así, podemos observar que, con las condiciones adecuadas, el uso de pérgolas fotovoltaicas en espacio público nos permite obtener tanto beneficios económicos como sociales, al aportar espacios de sombra aprovechables para el desarrollo de actividades recreativas y reducir las emisiones GEI (gases de efecto invernadero) derivadas del consumo eléctrico de la ciudad. Finalmente, en la siguiente tabla se muestra un resumen de los resultados obtenidos en este trabajo para las distintas tipologías de espacios clasificados con anterioridad. Para la estimación de las inversiones iniciales se han tomado como referencias los mismos costes utilizados para la instalación del parque de ayora más un coste añadido del 10% para las ubicaciones dentro de parques y con presencia de obstáculos cercanos (Tipo III y Tipo IV).

<i>Ubicaciones</i>	<i>Nº ubicaciones</i>	<i>Superficie media (m2)</i>	<i>Pérdidas por Sombras</i>	<i>kWp medio instalable</i>	<i>MWh Generación estimada</i>	<i>Inversión inicial por instalación (k.€)</i>
<i>Tipo I</i>	<i>57</i>	<i>466.9</i>	<i>5.76%</i>	<i>46.17</i>	<i>3.617,78</i>	<i>127,33</i>
<i>Tipo II</i>	<i>49</i>	<i>523.10</i>	<i>8.76%</i>	<i>51.46</i>	<i>3.444,09</i>	<i>141,95</i>
<i>Tipo III</i>	<i>48</i>	<i>387.73</i>	<i>11.34%</i>	<i>40.66</i>	<i>2.511,61</i>	<i>123,36</i>
<i>Tipo IV</i>	<i>47</i>	<i>296.75</i>	<i>12.59%</i>	<i>28.85</i>	<i>1.798,73</i>	<i>92,80</i>
<i>Tipo V</i>	<i>48</i>	<i>792.81</i>	<i>5.29%</i>	<i>80.06</i>	<i>5.115,25</i>	<i>170,99</i>
<i>Tipo VI</i>	<i>31</i>	<i>554.22</i>	<i>22.20%</i>	<i>54.80</i>	<i>1.950,95</i>	<i>151,15</i>

*Tabla 25. Tabla resumen de los resultados obtenidos para cada tipo de espacio propuesto.*

## Capítulo 4. Conclusiones.

Tras estudiar las posibilidades del autoconsumo de instituciones públicas con pérgolas fotovoltaicas conectadas a red y localizadas en espacio público, podemos concluir que la ciudad de Valencia posee unas características idóneas para la implementación de este tipo de instalaciones. Con las 280 ubicaciones seleccionadas, se ha estimado un potencial fotovoltaico de 18.438 MWh anuales con los que abastecer las instituciones seleccionadas. Considerando que la distancia máxima entre los puntos de medición de la instalación fotovoltaica y el edificio público a abastecer es de 500 metros, y que se abastecería un máximo del 60% del consumo eléctrico del edificio público, se podrían generar con pérgolas fotovoltaicas hasta 8.752 MWh anuales en espacio público para el abastecimiento de los consumos eléctricos localizados en este trabajo (consumos de más de 58 MWh/año). Además, considerando el potencial fotovoltaico disponible en las cubiertas de estos edificios, la generación fotovoltaica aumentaría hasta los 10.635 MWh anuales, correspondientes al 40% del consumo eléctrico total de los edificios y fuentes seleccionados y que supondrían una reducción de emisiones de 3.520 Toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

Asimismo, tras analizar la viabilidad de una instalación de pérgolas fotovoltaicas en una de las ubicaciones propuestas, comprobamos que se pueden obtener beneficios económicos de estas instalaciones, obteniéndose para el caso propuesto un ahorro de 157.182 € en los 25 años de funcionamiento de la instalación, estimando una inversión inicial de 243.860 € para una instalación de 121,44 KW. Por tanto, con las condiciones favorables, este tipo de instalaciones resultan económicamente viables y nos permiten complementar la generación fotovoltaica de las cubiertas con superficies de mayor tamaño con las que abastecer consumos eléctricos superiores.

Por todo ello, para maximizar la generación fotovoltaica en la ciudad de Valencia con el fin de abastecer consumos públicos, se han de considerar los siguientes puntos mostrados a continuación:

- Dar prioridad a las instalaciones fotovoltaicas en las cubiertas de estas instituciones siempre que se presenten condiciones favorables para ello, principalmente debido a su menor coste respecto a las instalaciones fotovoltaicas en espacio público, donde será necesaria la construcción de estructuras sobre la que instalar los paneles fotovoltaicos.
- Se debe de tener en cuenta que los puntos de medición de las instalaciones fotovoltaicas para autoconsumo conectadas a red deben de estar localizadas en un radio de 500 metros del punto de medición del edificio en cuestión, por lo que encontraremos localizaciones con características favorables para la instalación de pérgolas fotovoltaicas desde las que únicamente se podrá abastecer un único edificio público o ninguno. En estos casos, para maximizar la generación fotovoltaica de la ciudad, se deberán de asignar estos consumos a los edificios públicos disponibles, o crear comunidades energéticas de vecinos y comercios en los alrededores de estos espacios que les permita generar su propia electricidad de forma renovable y obtener ahorros en la factura de la luz.

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

- Acoger el mayor número de consumos eléctricos disponibles a las instalaciones fotovoltaicas ubicadas en suelo público, ya que mejora la rentabilidad de la instalación y reduce el tiempo de retorno de la inversión realizada, tal y como se ha comprobado con anterioridad.
- Adaptar las pérgolas ya existentes en la ciudad de Valencia para instalar paneles fotovoltaicos en sus cubiertas siempre que se presenten condiciones favorables para ello, permitiéndonos ahorrar los costes derivados de la construcción de estas estructuras en espacio público.
- En cuanto a los espacios públicos disponibles para la implementación de pérgolas fotovoltaicas, se debe de dar preferencia a las ubicaciones clasificadas como Tipo I (áreas amplias disponibles en acera pública) y Tipo V (grandes superficies al aire libre como parkings o recintos), ya que son las que mejores condiciones presentan para el aprovechamiento de la energía solar. No se recomienda la implementación de estas instalaciones en superficies cercanas a edificios altos localizados al este-oeste (Tipo VI) debido a las pérdidas de radiación producidas por la incidencia de sombras producidas por estos edificios a lo largo del año. Aun así, las estimaciones realizadas para cada tipología son aproximaciones realizadas sobre un único punto de la superficie, por lo que antes de la implementación de instalaciones fotovoltaicas sobre ellas, independientemente del tipo al que han sido clasificados, será necesario realizar un análisis de las sombras incidentes sobre su superficie y comprobar la viabilidad de la instalación. Al igual que hay superficies clasificadas como tipo I con pérdidas por sombras considerables (+10%), hay otras de tipo VI con pérdidas que podrían considerarse aceptables (8%), por lo que no se deberían descartar las áreas disponibles por el tipo al que se ha clasificado, aunque estas sigan una tendencia a los valores mostrados.

Finalmente, con el objetivo de contribuir al despliegue de plantas fotovoltaicas en el espacio público para el abastecimiento eléctrico en modalidad de autoconsumo conectado a red con compensación de excedentes de todos los edificios municipales de València, se recomienda realizar este tipo de instalaciones inicialmente para el abastecimiento de los mercados de la ciudad y los colegios públicos de Valencia, ya que estos edificios presentan consumos considerablemente altos con distribuciones horarias favorables para las instalaciones fotovoltaicas, aportan espacios de sombras a la ciudad (reclamados en los patios de los colegios por los centros educativos) y son áreas de gran afluencia de gente, por lo que servirían de ejemplo a la ciudadanía y fomentarían las instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo en hogares y comercios, ayudando así a cumplir los objetivos medioambientales marcados por la Unión Europea.



## BIBLIOGRAFÍA.

- Agencia Europea de Medio Ambiente. (2017, 25 septiembre). *La energía en Europa: situación actual*. European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2017-configuracion-del-futuro/articulos/la-energia-en-europa-situacion-actual>
- Ayuntamiento de Barcelona. (s. f.). *La pérgola fotovoltaica del Fòrum*. Barcelona.cat. [https://www.barcelona.cat/es/coneixbcn/pics/attractius/la-pergola-fotovoltaica-del-forum\\_99400076320.html](https://www.barcelona.cat/es/coneixbcn/pics/attractius/la-pergola-fotovoltaica-del-forum_99400076320.html)
- Ayuntamiento de Valencia. (2017, marzo). *PROYECTO DE INSTALACIÓN AISLADA DE PERGOLA FOTOVOLTAICA EN EL JARDIN DE MORVEDRE*. [http://www.valencia.es/contratacion/xcontratacion.nsf/vLicitacionesTodas/AFC071381B3D2B0EC125817F0035F15E/\\$file/Proy aislado Pergola Jard%20%20n de Morvedre - Corregido 15-9-17%20\(1\).cas.pdf](http://www.valencia.es/contratacion/xcontratacion.nsf/vLicitacionesTodas/AFC071381B3D2B0EC125817F0035F15E/$file/Proy aislado Pergola Jard%20%20n de Morvedre - Corregido 15-9-17%20(1).cas.pdf)
- Ayuntamiento de Valencia. Servicio de planeamiento. (s. f.). *Planos de urbanismo de la ciudad de Valencia*. Portal del Ayuntamiento de la ciudad de Valencia. Recuperado 30 de septiembre de 2020: [/www.valencia.es/ayuntamiento/home.nsf/\(Portadas2\)/%24first?opendocument&lang=2](/www.valencia.es/ayuntamiento/home.nsf/(Portadas2)/%24first?opendocument&lang=2)
- Byrne, J., Taminiu, J., Kurdgelashvili, L., & Nam Kim, K. (2015). *A review of the solar city concept and methods to assess roof top solar electric potential, with an illustrative application to the city of Seoul*. Elsevier, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(41), 831-843. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.023>
- Christiana Honsberg y Stuart Bowden. (s. f.). *Promedio de la Radiación Solar*. Pveducation.org. <https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/2-propiedades-de-la-luz-del-sol/promedio-de-la-radiaci%C3%B3n-solar>
- COM (2014)/015 final. Comisión Europea (22.1.2014). *COMUNICACIÓN DE LA COMISIÓN AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSEJO, AL COMITÉ ECONÓMICO Y SOCIAL EUROPEO Y AL COMITÉ DE LAS REGIONES Un marco estratégico en materia de clima y energía para el periodo 2020-2030*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52014DC0015&from=ES>
- Comisión Europea. (2017, 16 febrero). *Marco sobre clima y energía para 2030*. Acción por el Clima
- Comisión Europea. (2020a). *JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission*. PVGIS. [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_download/map\\_index.html](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_download/map_index.html)
- Comisión Europea. (2020b). *Pacto de los alcaldes para el clima y la energía*. Pacto de los Alcaldes. <https://pactodelosalcaldes.eu>
- Deloitte (2019, marzo). *Ciudades energéticamente sostenibles: la transición energética urbana a 2030*: [www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/es/Documents/estrategia/Deloitte-ES-ciudades-energeticamente-sostenibles.pdf?utm\\_campaign=Descarbonizaci%C3%B3n%202019&utm\\_source=CTA-DTT.com&utm\\_content=descarbonizacion-19](http://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/es/Documents/estrategia/Deloitte-ES-ciudades-energeticamente-sostenibles.pdf?utm_campaign=Descarbonizaci%C3%B3n%202019&utm_source=CTA-DTT.com&utm_content=descarbonizacion-19)
- E. Caamaño Martín, S. Díaz-Palacios Sisternes (2019, mayo). *POTENCIAL SOLAR FOTOVOLTAICO DE LAS CUBIERTAS EDIFICATORIAS DE LA CIUDAD DE VITORIA-GASTEIZ: CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS*. Centro

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

de Estudios Ambientales. <https://www.vitoria-gasteiz.org/docs/j34/catalogo/01/85/potencialsolar19memoria.pdf>

E. Fuster Palop, J. Payá Herrero y C. Prades Gil. (2019). *DESARROLLO DE UN MODELO EN CÓDIGO R PARA LA ESTIMACIÓN EN CUBIERTAS DEL POTENCIAL SOLAR FOTOVOLTAICO PARA LA COBERTURA DE LA DEMANDA ELÉCTRICA DE EDIFICIOS RESIDENCIALES Y TERCARIOS EN LA CIUDAD DE VALENCIA (TFM)*. *Cátedra Transición Energética Urbana UPV*. <https://catenerg.webs.upv.es/wp-content/uploads/2020/02/TFM-Fotovoltaica-Enrique-Fuster-CATENERG.pdf>

ED/EP. (2020, 11 de noviembre). *València contrata el diseño del prototipo de pérgola fotovoltaica para los colegios*. Levante-emv. <https://www.levante-emv.com/valencia/2020/11/11/valencia-contrata-pergola-fotovoltaica-colegios-sombra-22975153.html>

Eurostat. (2020, 30 julio). Porcentaje de energía procedente de fuentes renovables [Grafico]. Eurostat Statistics Explained. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Renewable\\_energy\\_highlight\\_FP2020-ES.png](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Renewable_energy_highlight_FP2020-ES.png)

Eva Pijuan. (2013). *Autoconsumo energético y gestión de la energía, una realidad*. Interempresas.net. <https://www.interempresas.net/Autoconsumo/Articulos/103688-Autoconsumo-energetico-y-gestion-de-la-energia-una-realidad.html>

G. S. (2019, 3 noviembre). *Cinco barrios contarán con nuevas pérgolas fotovoltaicas*. Levante-EMV. <https://www.levante-emv.com/valencia/2019/11/03/cinco-barrios-contaran-nuevas-pergolas-14038697.html>

IDAE. (2011). Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red. [https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_5654\\_FV\\_pliego\\_condiciones\\_tecnicas\\_instalaciones\\_conectadas\\_a\\_red\\_C20\\_Julio\\_2011\\_3498eaaf.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5654_FV_pliego_condiciones_tecnicas_instalaciones_conectadas_a_red_C20_Julio_2011_3498eaaf.pdf)

IDAE. (2017). Documento básico HE Ahorro de Energía. Sección HE 5. Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica. [https://www.coit.es/system/files/link\\_group/he\\_5\\_contribucion\\_fotovoltaica\\_minima\\_de\\_energia\\_electrica\\_77f479a7.pdf](https://www.coit.es/system/files/link_group/he_5_contribucion_fotovoltaica_minima_de_energia_electrica_77f479a7.pdf)

JPI Urban Europe (2020). / SET Plan Action 3.2 *White Paper on PED Reference Framework for Positive Energy Districts and Neighbourhoods*. <https://jpi-urbaneurope.eu/ped/>

La Vanguardia (2017). *El Ayuntamiento de Barcelona invertirá 12 millones en paneles solares en las calles*. EFE BARCELONA. <https://www.lavanguardia.com/local/barcelona/20170802/43282221016/ayuntamiento-barcelona-12-millones-paneles-solares-fotovoltaicas.html>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Gobierno de España. (2020, 20 enero). *PLAN NACIONAL INTEGRADO DE ENERGÍA Y CLIMA 2021-2030*. Agencia Europea de Medio Ambiente. [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/es\\_final\\_necp\\_main\\_es.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/es_final_necp_main_es.pdf)

Ministerios de Industria, Energía y Turismo, y el Ministerio de Fomento (2016). *FACTORES DE EMISIÓN DE CO2 y COEFICIENTES DE PASO A ENERGÍA PRIMARIA DE DIFERENTES FUENTES DE ENERGÍA FINAL CONSUMIDAS EN EL SECTOR DE EDIFICIOS EN ESPAÑA*. Documento Reconocido del Reglamento de

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).  
[https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Otros%20documentos/Factores\\_emision\\_CO2.pdf](https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Otros%20documentos/Factores_emision_CO2.pdf)

Naciones Unidas (2018, 16 mayo). *Las ciudades seguirán creciendo, sobre todo en los países en desarrollo*. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales.  
<https://www.un.org/development/desa/es/news/population/2018-world-urbanization-prospects.html>

Naciones Unidas. (2017). *Las ciudades y la contaminación contribuyen al cambio climático* | Naciones Unidas. Naciones Unidas. Acción por el Clima. <https://www.un.org/es/climate-change/climate-solutions/cities-pollution>

Oficina de estadísticas del ayuntamiento de Valencia (2019). *Consumo eléctrico y facturación de los servicios públicos*.  
<http://www.valencia.es/ayuntamiento/catalogo.nsf/IndiceAnuario?readForm&lang=1&capitulo=8&tema=2&bdOrigen=ayuntamiento/estadistica.nsf&idApoyo=58FB3C7A3D56E414C1257DD40057EB6C>

Oficina de l'Energía. (2020, 20 junio). *Enciende la luz de tu barrio*. Canvi Climàtic.  
<http://canviclimatic.org/es/oficina-de-l-energia/comunidades-energeticas/enciende-la-luz-de-tu-barrio/>

Oficina de l'Energía. (2020, junio 18). *Castellar-l'Oliveral*. Canvi Climàtic.  
<http://canviclimatic.org/es/oficina-de-l-energia/comunidades-energeticas/castellar-loliveral/>

Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. Boletín Oficial del Estado.  
<https://www.boe.es/eli/es/rd/2019/04/05/244>

Solar Power Europe, Schmela, M. (2019, diciembre). *EU Market Outlook For Solar Power / 2019 - 2023*.  
[https://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2019/12/SolarPower-Europe\\_EU-Market-Outlook-for-Solar-Power-2019-2023.pdf?cf\\_id=10355](https://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2019/12/SolarPower-Europe_EU-Market-Outlook-for-Solar-Power-2019-2023.pdf?cf_id=10355)

Universidad de Málaga. (2020, 25 junio). *Potencial del Sol en España*. uma.es.  
<https://www.uma.es/smart-campus/noticias/potencial-del-sol-en-espana/>

# PRESUPUESTO

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

Dado el carácter académico de este Trabajo Fin de Grado, en este documento se afrontan los costes económicos correspondientes a la realización del estudio correspondiente. Para ello, se han tenido en cuenta las tareas de recopilación de todos los datos inicialmente necesarios, la obtención de nuevos datos y el análisis de resultados con el uso de HOMER. Además, se incluye un presupuesto general de la instalación fotovoltaica de 121 kW de potencia propuesta para el parque de ayora, estimando sus costes generales a partir de otros proyectos de instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo conectadas a red de dimensiones similares.

### 1. Presupuesto general de la instalación fotovoltaica.

<b>PRESUPUESTO GENERAL DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA (121.44 kWp)</b>					
<b>Código</b>		<b>Descripción</b>	<b>Unidades</b>	<b>Coste Unitario (€)</b>	<b>Total (€)</b>
<b>CAP 1</b>		<b>Instalación fotovoltaica</b>			
<b>1.1</b>	<b>u.</b>	Panel fotovoltaico PERC RED SOLAR 440 W	276	119,5	32.994
<b>1.2</b>	<b>u.</b>	Inversor Huawei SUN2000-100KTL-M1 Trifásico 100 kW	1	7.359,0	7.359
<b>1.3</b>	<b>u.</b>	Instalación eléctrica	1	26.395,3	26.395
<b>CAP 2</b>		<b>Pérgolas</b>			
<b>2.1</b>	<b>u.</b>	Construcción de las pérgolas	11	11.174,4	122.918
<b>2.2</b>	<b>u.</b>	Control de calidad de las soldaduras	11	369.7	4.067
<b>CAP 3</b>		<b>Mano de obra</b>			
<b>3.1</b>	<b>u.</b>	Costes de instalación	1	20.800,0	20.800
<b>3.2</b>	<b>u.</b>	Honorarios	1	7.366	7.366
		<b>Subtotal ejecución material</b>			221.899
		<b>10% Gastos generales</b>			22.189
		<b>4% Beneficio Industrial</b>			8.875
		<b>Subtotal presupuesto sin IVA</b>			252.963
		<b>Total presupuesto (21% IVA)</b>			306.086

Tabla 26. Presupuesto general de la instalación fotovoltaica de 121,44 kW propuesta para el parque de Ayora.

## 2. Costes referidos a los honorarios.

En este apartado se muestran los costes requeridos en el proceso de elaboración del presente trabajo de investigación.

### 2.1 Costes de mano de obra.

COSTES DE MANO DE OBRA					
Código		Descripción	Unidades	Coste Unitario (€/ud)	Total (€)
1.1	Horas	Analizar el potencial fotovoltaico disponible en la ciudad de Valencia para el abastecimiento de edificios públicos.	200	20,00	4.000,00
1.2	Horas	Estudiar la viabilidad de la instalación de pérgolas fotovoltaicas en el parque de Ayora	100	20,00	2.000,00
1.3	Horas	Supervisión	40	25,00	1.000,00
		<b>Subtotal</b>			7.000,00

Tabla 27. Costes de mano de obra referidos a los honorarios.

### 2.2 Costes de oficina técnica.

COSTES DE OFICINA TÉCNICA					
Código		Descripción	Unidades	Coste Unitario (€/ud)	Total (€)
2.1	Años	ACER ASPIRE E5-573	0,23082	100,00	23,08
2.2	Meses	Licencia Microsoft Office	6	9,80	58,80
2.3	Meses	Licencia Homer 2.68	3	65,00	195,00
2.3	Unidad	Acceso a documentación y programas de simulación	1	40,00	40,00
2.4	Unidad	Papel y material de impresión	1	50,00	50,00
		<b>Subtotal</b>			366,88

Tabla 28, Costes de oficina técnica referidos a los honorarios.



Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

- Para los costes del ordenador portátil ACER ASPIRE E5-573, valorado en 400 €, se ha estimado un periodo de amortización de 4 años, suponiendo un coste de 100€/año. Considerando una media jornada laboral de 4 horas y que el trabajo total del proyecto requiere de 337 horas, su equivalencia en años resulta en 0.23082.

### 2.3 Coste total.

<b>PRESUPUESTO GENERAL</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Importe(€)</b>
Costes de mano de obra	7.000,00
Costes de oficina técnica	366,88
Subtotal sin IVA	7.366,88
<b>Total presupuesto (21% IVA)</b>	<b>8.913,93</b>

*Tabla 29. Presupuesto general referido a los honorarios.*

# ANEXO

## Anexo 1. Dimensionado de la instalación fotovoltaica con HOMER2.68

Para realizar el dimensionado de la instalación fotovoltaica localizada en el parque de Ayora, se ha utilizado el programa HOMER (Hybrid Optimization Model for Multiple Energy Resources), un software desarrollado por la empresa Homer Energy LLC, diseñado para analizar y optimizar diferentes sistemas eléctricos que incorporen o no una o más fuentes de energías renovables.

Con este programa obtendremos el dimensionado de la instalación fotovoltaica y nos aportará resultados económicos con los que analizar la instalación propuesta.

Utilizaremos la versión 2.68 de este programa. Para ello, seguiremos los pasos mostrados a continuación:

### 1.1 Añadir componentes.

El primer paso a realizar será seleccionar los componentes que compondrán la instalación fotovoltaica. Para ello, iniciamos el programa y pulsamos en add/remove. Aquí se nos muestran todas las opciones que tiene el programa para simular un sistema eléctrico y optimizarlo.

La instalación fotovoltaica, tal y como se ha comentado con anterioridad, será una instalación de autoconsumo colectiva conectada a red y acogida a la compensación por excedentes simplificada, según lo establecido en el Real Decreto 249/2019, por lo que la potencia máxima de salida de nuestra instalación estará limitada a 100 kW. Al estar acogidos a la compensación por excedentes y tratarse de una instalación conectada a red, no será necesario que esta esté compuesta de baterías. Seleccionamos los elementos de nuestra instalación (Figura 63) y continuamos.

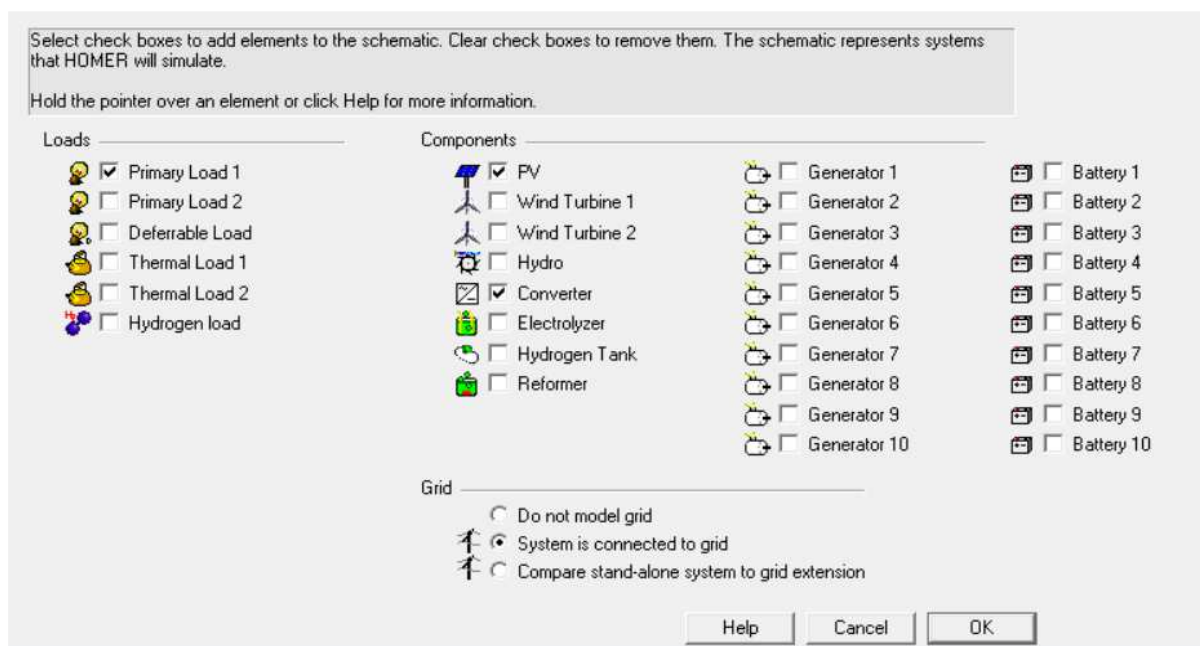


Figura 63. Panel de selección de componentes. (HOMER 2.68)

Una vez tenemos los componentes de la instalación, iremos introduciendo los datos requeridos por el programa para realizar una simulación de las diferentes combinaciones técnicamente posibles y determinar la mejor opción a partir del payback o plazo de recuperación, calculado como el cociente de la inversión inicial de cada opción y la diferencia del coste operacional en caso de consumir sólo de la red (sin instalación fotovoltaica) y el coste operacional de la opción evaluada.

Empezaremos mostrando los datos introducidos en las cargas eléctricas.

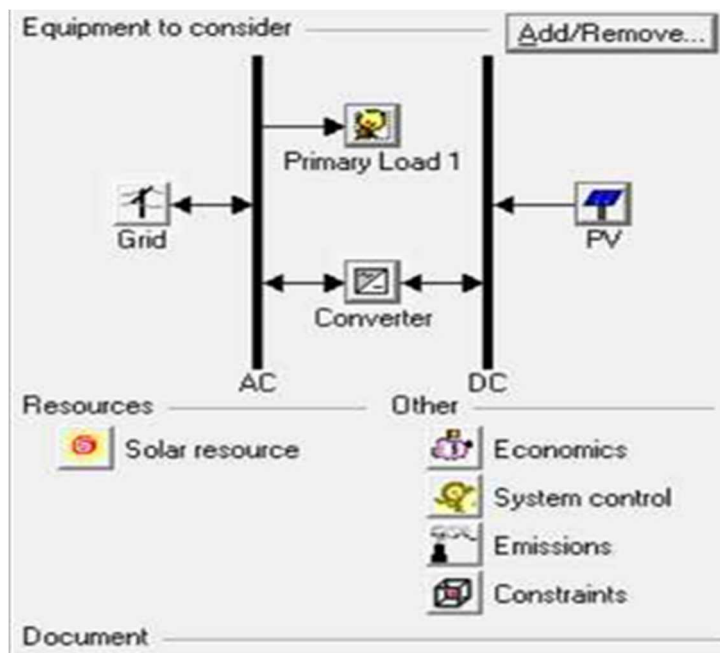


Figura 64. Selección de los componentes. (HOMER 2.68)

## 1.2 Cargas eléctricas.

En este apartado es donde iremos introduciendo las curvas de carga de los diferentes edificios a los que se pretende abastecer. En nuestro caso, se han planteado diferentes casos de estudio donde realizaremos las simulaciones del programa para las demandas eléctricas del centro de ocupación, el centro de coordinación de juventudes, los 4 colegios seleccionados y finalmente el conjunto de estos 6 edificios.

El programa solamente nos permite introducir dos curvas de carga al mismo tiempo, por lo que para aquellos casos en los que se quieran introducir un mayor número de demandas, deberemos de sumar sus consumos horarios anuales e introducirlos en el programa como una sola curva de carga.

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

Para añadir las curvas de carga obtenidas con anterioridad de los consumos a abastecer, entramos en cargas eléctricas (bombilla), seleccionamos el tipo de carga AC e introducimos la curva de carga al programa dándole a la opción de importar un archivo. Para ello, se han guardado los consumos anuales horarios de cada edificio obtenidos anteriormente en un archivo txt. Es necesario introducir un archivo de 8760 valores al programa, correspondiendo cada uno de estos valores a un consumo horario de cada día del año.

Una vez importada la curva al programa, si pulsamos en plot se nos mostrarán diferentes gráficos y datos que nos permitirán analizar las curvas introducidas:

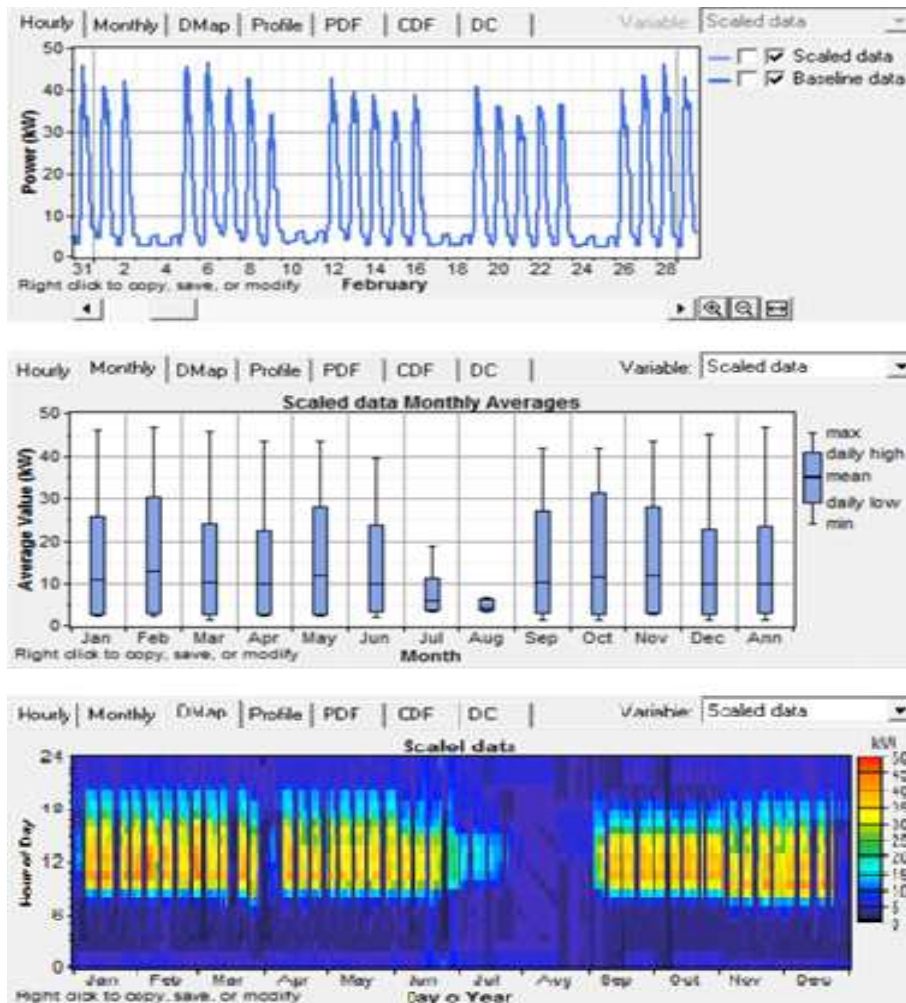


Figura 65. Distribución consumos introducidos. (HOMER 2.68)

## Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

### 1.3 Convertidor.

Continuamos mostrando los datos introducidos en el apartado correspondiente al inversor. El programa nos pedirá información sobre la potencia del inversor, los costes de instalación y mantenimiento, su eficiencia y su periodo de funcionamiento (Figura 66).

A converter is required for systems in which DC components serve an AC load or vice-versa. A converter can be an inverter (DC to AC), rectifier (AC to DC), or both.

Enter at least one size and capital cost value in the Costs table. Include all costs associated with the converter, such as hardware and labor. As it searches for the optimal system, HOMER considers each converter capacity in the Sizes to Consider table. Note that all references to converter size or capacity refer to inverter capacity.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Size (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
100.000	7359	7359	100
{.}	{.}	{.}	{.}

Sizes to consider

- Size (kW)
- 30.000
- 40.000
- 50.000
- 60.000
- 70.000
- 80.000
- 90.000

Inverter inputs

Lifetime (years)  {.}

Efficiency (%)  {.}

Inverter can operate simultaneously with an AC generator

Rectifier inputs

Capacity relative to inverter (%)  {.}

Efficiency (%)  {.}

Cost Curve

Cost (000 \$)

Size (kW)

— Capital — Replacement

Size (kW)	Capital (000 \$)	Replacement (000 \$)
30	2.3	2.3
40	3.0	3.0
50	3.7	3.7
60	4.4	4.4
70	5.1	5.1
80	5.8	5.8
90	6.5	6.5
100	7.2	7.2
110	7.9	8.6
120	8.6	9.9
130	9.3	11.2
140	10.0	12.5
150	10.7	13.8
160	11.4	15.1
170	12.1	16.4
180	12.8	17.7
190	13.5	19.0
200	14.2	20.3

Help Cancel OK

Figura 66. Datos introducidos en el inversor. (HOMER 2.68)

Como no sabemos el tamaño de nuestra instalación. Por el momento, se ha buscado un inversor de 100 kW por internet y se han introducido sus características requeridas. En la columna derecha, se nos permite añadir distintos tamaños del inversor para realizar las simulaciones. Cuantos más valores se añadan, más variables debe de simular el programa y más tiempo necesitará para finalizar. Se han añadido tamaños desde 30 kW hasta 100 kW en intervalos de 10kW. Como podemos ver, el programa calcula los supuestos costes de los distintos inversores a partir del precio del inversor añadido de 100kW.

Cuando realicemos la primera simulación y el programa nos otorgue un valor de potencia del inversor se buscará el modelo adecuado y se añadirán sus correspondientes datos al programa en caso que este valor no sea el máximo disponible de 100 kW, volviendo a realizar la simulación.

Se ha supuesto un coste de mantenimiento del inversor de 100€/año.

Proseguimos introduciendo los datos relativos a los paneles fotovoltaicos, donde se incluirán todos los costes de la instalación exceptuando los del inversor, los cuales han sido introducidos en este apartado.



Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

1.4 Paneles fotovoltaicos.

Para realizar las simulaciones será necesario conocer las especificaciones de los paneles que se pretenden utilizar en la instalación fotovoltaica propuesta. El panel seleccionado para este trabajo ha sido el PERC RED SOLAR 440 W, cuyas especificaciones se muestran aquí abajo.

<b>Especificaciones</b>	
Modelo	SR - M672440HLP
Potencia máxima (Pmax)	440W
Tensión de potencia máx. (Vmp)	40.99V
Tensión de corriente máx. (Imp)	10.74A
Tensión de circuito abierto (Voc)	49.62V
Corriente de cortocircuito (Isc)	11.35A
Eficiencia de módulo (%)	19.97%
Máxima tensión del sistema (V)	DC1000
Coef. de temp Pmax (%)/°C	-0.365 %/°C
Coef. de temp Voc (%)/°C	-0.285 %/°C
Coef. de temp Isc (%)/°C	+0.055 %/°C
Temperatura de trabajo (°C)	-40–+85°C
NOCT	45±2°C
Tolerancia	(0,+3)
Tipo de célula	Monocristalina
Nº de células	144 (166x83mm)
Tipo de conectores	MMC4 Compatible
Peso (kg)	23.5 kg
Dimensiones (mm)	2115x1052x35 mm

Ficha técnica testeada según STC, STC:AM 1.5,1000W/m², 25°C.

Tabla 30. Especificaciones técnicas del panel fotovoltaico PERC RED SOLAR 440 W.

El programa nos solicitará la siguiente información. Esta será común a todos los casos propuestos:

- Vida útil. 25 años.
- Factor de reducción (FR). Considera la reducción de la potencia generada por pérdidas por suciedad, pérdidas en el cableado y otros. Consideramos un valor estándar del 80%.
- Inclinación de los paneles. 30º, fijados por la inclinación de las pérgolas.
- Azimut. Orientación de los paneles respecto al sur. Preferiblemente orientados totalmente al sur para maximizar la radiación recibida. Nuestras pérgolas estarán orientadas 10º hacia el este debido a la disposición del parque.
- Reflectancia del suelo. Tomaremos un valor estándar del 20%. Este efecto no tendrá un gran impacto en los resultados, por lo que se toma un valor estándar de 0.2.
- Coeficiente de temperatura  $P_{max}$ . -0.365%/°C. Indica la variación de la potencia del módulo con la temperatura.
- Temperatura nominal de funcionamiento. 45°C.
- Eficiencia del módulo fotovoltaico (STC). 19.97%

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

- Costes de los paneles. Debemos de tener en cuenta los costes de los paneles junto a los costes fijos, donde se incluyen los costes de las estructuras, mano de obra, cableado y medidas de seguridad. Para averiguar los costes fijos, se han buscado los costes fijos de distintos proyectos de autoconsumo conectados a red desde 15 kW hasta instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo conectadas a red de más de 100 kW de potencia. Según el tamaño de la instalación los costes fijos de la instalación (cableado, protecciones, cuadro eléctrico, etc) variarán, resultando un coste por kW menor para instalaciones de mayor tamaño.

A estos costes también se han de añadir los costes relacionados con la construcción de la pérgola, los cuales también variarán con el tamaño de la instalación. Para estos costes se han utilizado como referencia los correspondientes al presupuesto de las pérgolas instaladas en el jardín de Morvedre en el año 2017, y presupuestos de pérgolas consultados por internet. Se han asignado costes por kW más bajos para las instalaciones de mayor tamaño.

Finalmente, se ha realizado la tabla mostrada a continuación para diferentes potencias fotovoltaicas y esta ha sido introducida a los costes de los paneles en HOMER.

<b>Tabla resumen de los costes asociados a la instalación fotovoltaica propuesta</b>					
<b>Potencia de la instalación(kWp)</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>35</b>	<b>25</b>	<b>15</b>
<i>Costes Fijos (€)</i>	55.853	28.525	26.250	19.405	11.611
<i>Costes Paneles (€)</i>	27.168	13.584	9.508	6.792	4.064
<i>Costes Pérgolas estimado(€/kW)</i>	1.204	1.686	1.927	2.167	2.167
<b>Costes Totales (€)</b>	203.464	126.418	103.206	80.396	48.181
<b>Costes Totales (€/kW)</b>	2.034	2.528	2.948	3.215	3.220

Tabla 31. Tabla resumen de los costes derivados de los paneles fotovoltaicos.

En cuanto a los costes de operación, supondremos un valor de 200€ anuales por pérgola (9.68 kW). Este valor puede ser menor, ya que, dependiendo del tamaño de la instalación, se podría subcontratar el servicio para todas las pérgolas y el precio por kW disminuiría considerablemente. Para el coste en caso de reemplazo solamente tendremos en cuenta el precio de los paneles fotovoltaicos.

Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

Los tamaños de la instalación a considerar serán escalados en potencias de 9.68 kW, correspondientes a la potencia de cada pérgola. La primera potencia introducida de 14.96 kW corresponde a la capacidad de la pérgola ya existente el parque. A partir de estos valores introducidos el programa realizará las simulaciones analizando todas las configuraciones posibles.

Enter at least one size and capital cost value in the Costs table. Include all costs associated with the PV (photovoltaic) system, including modules, mounting hardware, and installation. As it searches for the optimal system, HOMER considers each PV array capacity in the Sizes to Consider table.

Note that by default, HOMER sets the slope value equal to the latitude from the Solar Resource Inputs window.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Size (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
25.000	80396	6792	520
35.000	103206	9509	728
50.000	126418	13584	1040
{.}	{.}	{.}	{.}

Sizes to consider

- 0.000
- 14.960
- 24.640
- 34.320
- 44.000
- 53.680
- 73.040

Properties

Output current:  AC  DC

Lifetime (years): 25

Derating factor (%): 80

Slope (degrees): 30

Azimuth (degrees W of S): 350

Ground reflectance (%): 20

Advanced

Tracking system: No Tracking

Consider effect of temperature

Temperature coeff. of power (%/°C): -0.3650

Nominal operating cell temp. (°C): 45

Efficiency at std. test conditions (%): 19.97

Cost Curve

Cost (000 \$)

Size (kW)

— Capital — Replacement

Figura 67. Datos introducidos en el módulo fotovoltaico. (HOMER 2.68)

Una vez tenemos los datos respectivos a los paneles introducidos en el programa, proseguimos con la radiación solar:

### 1.5 Radiación Solar.

Para introducir los datos de radiación solar, introducimos en PVGIS las coordenadas de la localización propuesta y obtenemos las radiaciones solares, especificando una inclinación de los paneles de 30°. Introducimos los valores mensuales obtenidos con las coordenadas de la localización y a continuación exportamos la tabla del programa. Para considerar las pérdidas por sombras de la ubicación (calculadas con anterioridad en la memoria), se han sustituido por 0 aquellas radiaciones horarias en las que, a partir del diagrama solar obtenido del programa C3EX, sabemos que incidirán sombras, recordando la necesidad de pasar de de horas solares a hora local (+2h Verano; +1h invierno). De los puntos calculados, las pérdidas por sombras máximas estimadas fueron del 3.6%, produciéndose durante las primeras horas de la mañana.

Finalmente volvemos a introducir en el programa la tabla de radiaciones modificada (Figura 68)

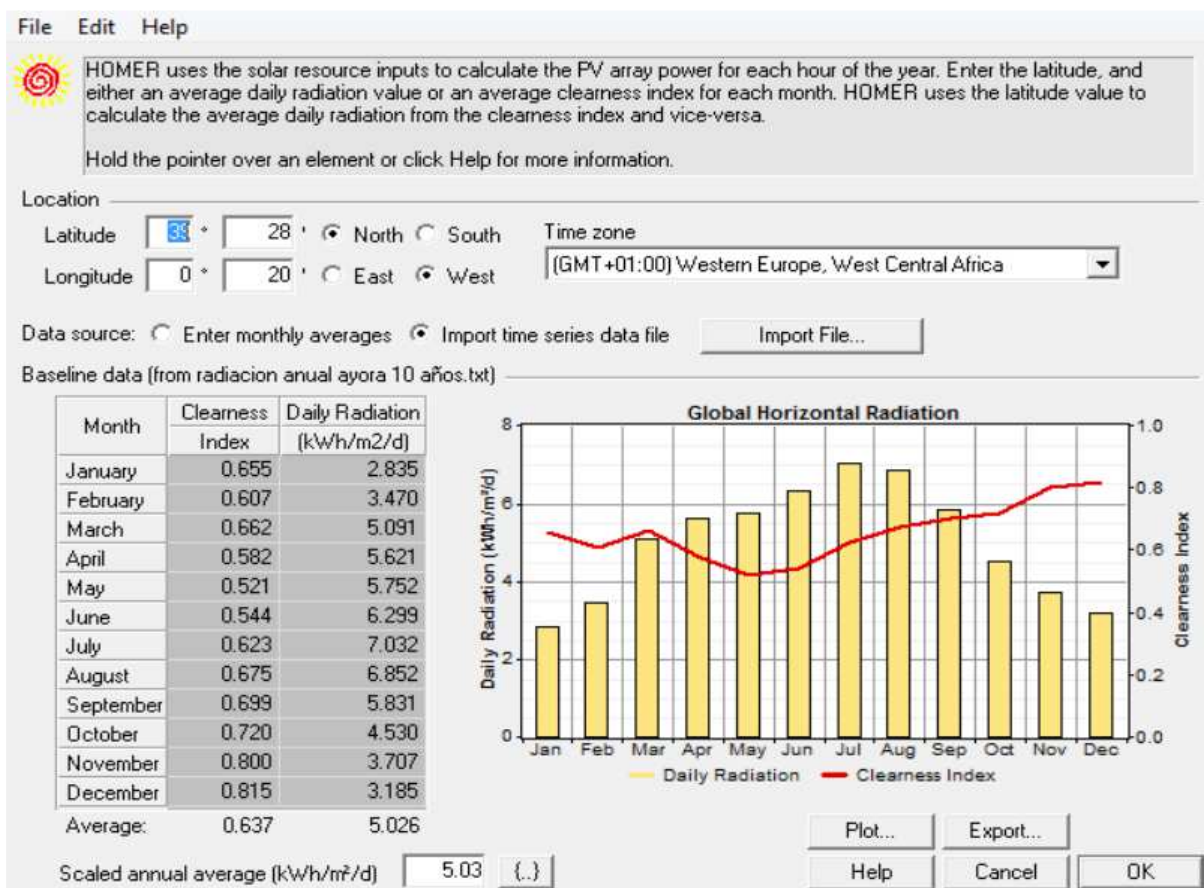


Figura 68. Radiación solar introducida para el parque de ayora (30°). (HOMER 2.68)

## 1.6 Temperatura ambiente.

Una vez tenemos las irradiaciones, introducimos las temperaturas ambientes de la zona (Figura 69)

Es necesario introducir las temperaturas locales siempre que se quiera considerar los efectos de la temperatura en el rendimiento de los paneles fotovoltaicos. Las temperaturas ambiente medias de cada mes han sido obtenidas de PVGIS.

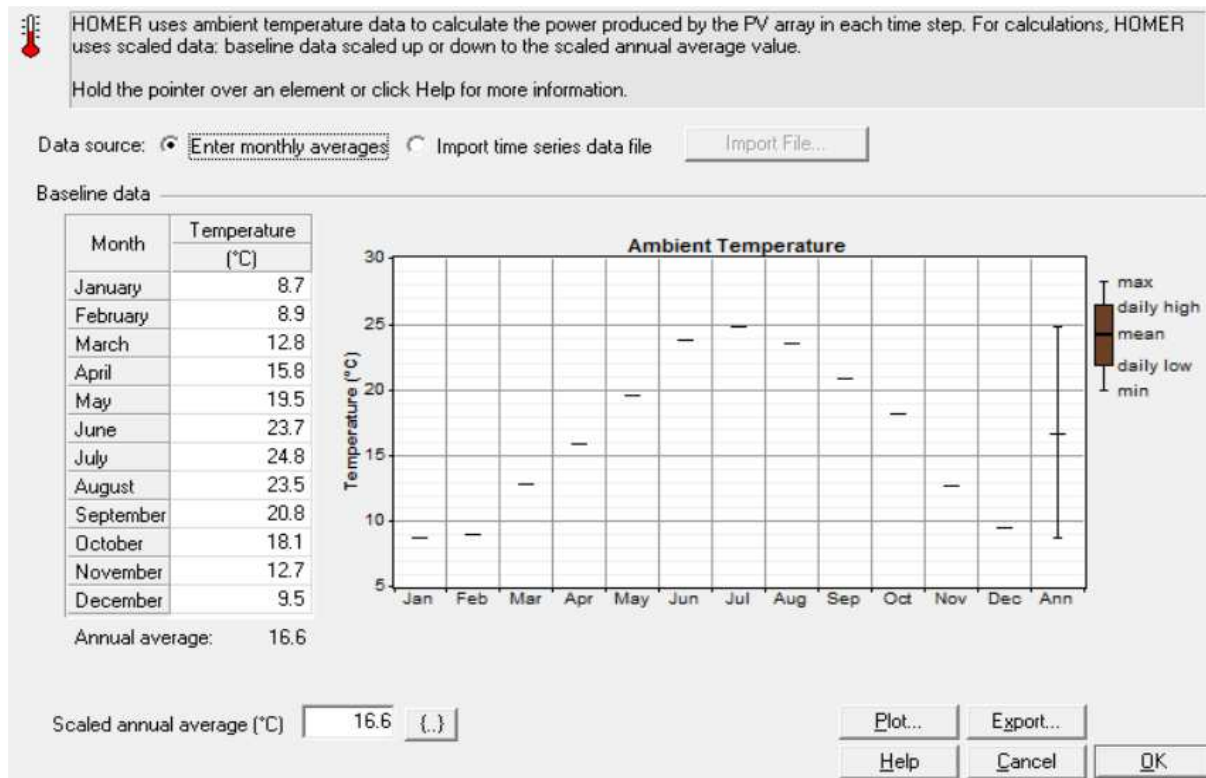


Figura 69. Temperaturas introducidas para el parque de ayora. (HOMER 2.68)

## 1.7 Conexión a red.

Entrando en el apartado de red eléctrica, se nos permite introducir los periodos de consumo eléctrico de los edificios a abastecer. También se pueden modificar los factores de emisiones de la red eléctrica, introducir distintos parámetros de control para aquellos sistemas con baterías o añadir costes adicionales relacionados a la conexión a red, entre otras opciones.

Todos los puntos de consumo a los que se pretende abastecer con las pérgolas fotovoltaicas conectadas a red tienen tarifas eléctricas 3.0A o 3.1A, utilizándose la 3.1A para potencias contratadas de más de 15kW. Estas tarifas de acceso presentan una discriminación horaria en tres periodos, tal y como se muestra a continuación (Figura 70).

## Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia



Figura 70. Datos de conexión de red introducidos. (HOMER 2.68)

Al estar la instalación acogida a la compensación por excedentes, se ha supuesto un precio de venta de la electricidad a la red de 0.05€/kWh.

Una vez más, estos datos serán comunes a todos los casos que se pretende analizar con este programa, por lo que únicamente será necesario cambiar las curvas de demanda en cada situación propuesta. Dentro del programa podemos modificar diferentes parámetros económicos como el interés anual, penalizaciones por excedentes de energía, introducir restricciones de venta a la red, etc. En nuestro caso, mantendremos estos criterios con los valores propuestos por el programa y realizaremos las simulaciones con los datos mostrados en este anexo.

## Anexo 2. Tabla de generación fotovoltaica en espacio público y en cubierta estimada para los colegios públicos seleccionados.



Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

Descripción	Zona	Consumo anual (kWh)	Generación anual estimada en cubierta (kWh)	Generación anual estimada en espacio público (kWh)	% Generación respecto al total
CONSERV.J.ITURBI/CP 590	Camins Al Grau	329.991	37.500	200.108	72,00
C.P.TEODORO LLORENTE	Extramurs	167.196	25.574	132.762	94,70
C.P.LUIS SANTANGEL	Jesús	146.777	0	104.363	71,10
C.P.LES ARENES	Poblados maritimos	138.983	12.825	117.750	93,95
C.P.MIGUEL HERNANDEZ	Rascaña	129.287	162.616	99.444	202,70
C.P.SANTO CALIZ	Cuatro carreres	125.969	708.002	108.801	648,42
C.P.RODRIGUEZ FORNOS	Patraix	122.482	212.370	123.316	274,07
C.P.SALVADOR TUSET	Benicalap	115.891	83.987	99.270	158,13
C.P.TORREFIEL	Rascaña	112.550	21.592	46.165	60,20
C.E.E.SEBASTIAN BURGOS	Jesús	110.860	567.911	106.748	608,57
C.P.CAMPANAR (RASCAÑA)	Campanar	110.382	60.769	83.449	130,65
C.P.CERVANTES	ciutat vella	108.917	112.724	0	103,50
C.P.JOSE SOTO MICO PRIM.	Jesús	107.571	136.786	79.678	201,23
C.P.PABLO NERUDA	Cuatro carreres	103.319	672.959	54.158	703,76
C.P.LUIS BRAILLE	La zaidia	100.924	28.807	38.650	66,18
C.P.CAVITE-ISLA HIERRO	Poblados maritimos	98.171	9.268	150.868	166,12
C.P.MARQUES DE TURIA	El pla del real	97.748	11.328	0	11,59
CENTRO DIA FTE. SAN LUIS	Cuatro carreres	97.252	117.380	103.620	227,24
C.P.Nº100 RUZAFÁ	Ensanche	88.360	119.896	0	135,69
C.P.ELISEO VIDAL	Patraix	88.012	101.730	60.579	184,42
C.P.TOMAS VILLARROYA	Jesús	88.003	0	66.168	75,19
C.P.FERNANDO DE LOS RIOS	Cuatro carreres	86.752	0	76.676	88,39
C.P.VICENTE GAOS	Algirós	85.558	158.059	51.576	245,02
C.P.M. ADLERT NOGUEROL	Algirós	84.072	123.589	86.123	249,44
C.P.PROFESOR RAMIRO JOVER	Jesús	81.840	206.979	51.810	316,21
C.P.LLUIS GUARNER	Benicalap	81.287	89.259	68.653	194,26
C.P.FED. GARCIA LORCA	Algirós	80.254	74.941	58.761	166,60
C.P.SAN JOSE DE CALASANZ	Poblados maritimos	79.819	61.338	26.494	110,04
C.P.MARE NOSTRUM	Algirós	78.520	18.195	146.010	209,13
C.P.ARTISTA FALLERO	Benicalap	71.253	31.385	70.567	143,08

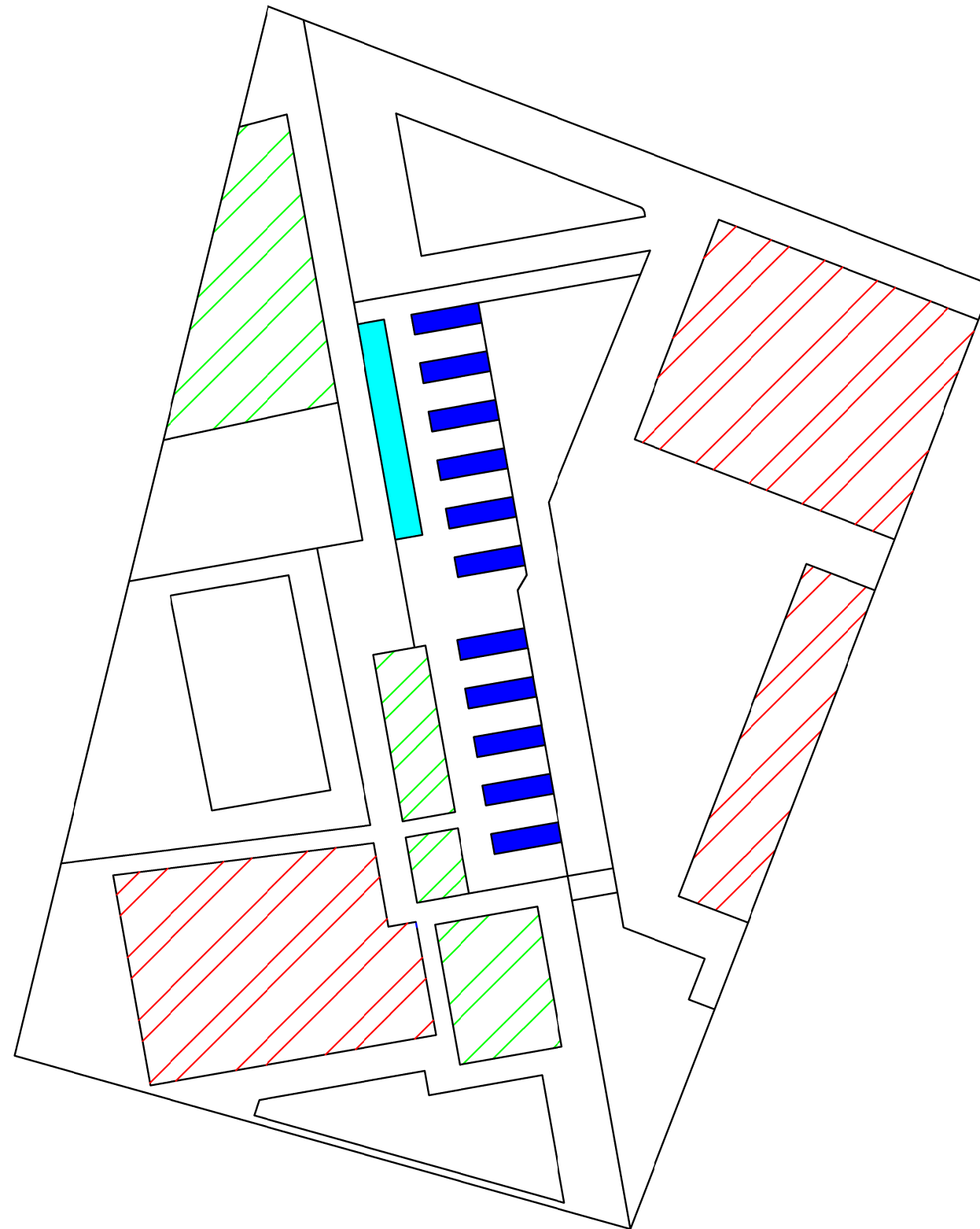


Estudio de viabilidad de pérgolas fotovoltaicas que se localizarán en espacios públicos para autoconsumo de edificios municipales: Aplicación a la ciudad de Valencia

C.P.ARQ.SANTIAGO CALATRAV	Campanar	70.453	0	70.453	100,00
C.P.PADRE CATALA	Benimaclet	69.764	157.386	51.846	299,91
C.P.MESTALLA	Algirós	68.113	69.373	0	101,85
C.P.BENIMACLET	Benimaclet	67.388	113.423	17.904	194,88
C.P.RAQUEL PAYA	L'Olivereta	67.369	382.884	59.913	657,27
C.P.PRACTICAS	Cuatro carreres	64.962	141.591	70.304	326,18
C.P.SAN JUAN RIBERA	Ensanche	64.124	0	0	0,00
C.P.AIORA	Algirós	64.110	1.711	33.610	55,09
C.P.MAX AUB	La zaidia	63.971	7.956	87.912	149,86
C.P.ANGELINA CARNICER	Algirós	62.208	60.402	0	97,10
C.P.SANTIAGO GRISOLIA	Algirós	62.093	207.693	225.020	696,88
C.P.RUIZ GIMENEZ	Poblados maritimos	61.663	66.675	81.542	240,37
C.P.BALLESTER FANDOS	Poblados maritimos	61.341	24.511	55,887	131,07
C.P.LUIS VIVES	Extramurs	60.614	97.482	0	160,82
C.P.JAIME BALMES	Ensanche	59.869	52.563	0	87,80
C.P.SECTOR AEREO	L'Olivereta	59.854	0	59,854	100.00%
C.P.HUMANISTA MARINER	Patraix	58.578	92.045	63,118	264.88%

Tabla 32. Generación estimada para los colegios públicos de Valencia.

# PLANOS



### LEYENDA

ROJO	EDIFICIOS
VERDE	ÁRBOLES
AZUL	PÉRGOLAS PROPUESTAS
CELESTE	PÉRGOLA YA INSTALADA

