

AUTOCONSUMO COMPARTIDO: GENERACIÓN DISTRIBUIDA DE ELECTRICIDAD FOTOVOLTAICA COMO EL FUTURO DE NUESTRAS CIUDADES ¿ES POSIBLE?

Celia Sánchez Mayoral, Estudiante, Universidad Politécnica de Madrid

Estefanía Caamaño Martín, Investigadora, Instituto de Energía Solar, Universidad Politécnica de Madrid

Resumen: En España predomina la tipología de viviendas multifamiliares. El autoconsumo compartido aparece como una alternativa para posibilitar la generación distribuida de energía eléctrica gracias a instalaciones fotovoltaicas en edificios, cuyo uso prioritario sea cubrir el consumo de las viviendas. Este trabajo presenta las posibilidades técnico-económicas de instalaciones fotovoltaicas para autoconsumo ubicadas en cubiertas de edificios multifamiliares en Madrid. Para ello es necesario tener en cuenta tipologías de edificios representativas; diseñar y dimensionar las instalaciones fotovoltaicas; calcular la generación eléctrica esperable, respetando consideraciones estéticas y estudiar las características de los consumos eléctricos de las viviendas, para obtener los resultados de variables relevantes, como el autoconsumo y la autosuficiencia, con el fin de poder crear una gestión inteligente del uso de ciertas cargas, o incluso el uso de almacenamiento. Además, se analiza la rentabilidad económica de las instalaciones en el contexto regulatorio actual, considerando distintos escenarios de gestión de la electricidad y la posible retribución por la venta de excedentes.

Palabras clave: Energía Solar, Energías Renovables, Cambio Climático, Autoconsumo Compartido, Autosuficiencia, Fotovoltaica, Modulo Fotovoltaico, Sistemas Fotovoltaicos, Instalación Fotovoltaica Residencial, Sistema Energético

INTRODUCCION

El autoconsumo es la capacidad de consumir lo que uno mismo genera, cuando es compartido, implica que, pueden ser uno o varios quienes generen y se beneficien. Para este trabajo, significa la capacidad de instalar unos módulos fotovoltaicos en un edificio de viviendas para generar electricidad, y aprovechar entre un grupo de hogares la energía producida. En España el autoconsumo compartido en edificios residenciales ha sido ilegal, solo se podía permitir tener una instalación de autoconsumo una vivienda unifamiliar, hasta la aparición del Real Decreto 244/2019 [1]. Este presenta un marco legal con muchas posibilidades, dado que las ciudades son sumideros de energía que necesitan de grandes centrales para alimentarlas, además, su dependencia eléctrica está aumentando con la creciente electrificación, así como con la incorporación el coche eléctrico. A su vez, muchas zonas urbanas tienen altos potenciales de generación fotovoltaica que se están empezando a estudiar, como los polígonos industriales. Pero también dentro de las ciudades, los edificios pueden pasar a tener una función activa, siendo las cubiertas y fachadas las que generen toda o parte de la energía que se consume en su interior. En los últimos años el precio de la tecnología fotovoltaica se ha reducido de manera importante, haciéndola muy competitiva. Es el momento de analizar la viabilidad técnico-económica de esta tecnología teniendo en cuenta las particularidades de su uso en edificios reales.

EL PROYECTO

Este estudio surgió como análisis de la viabilidad del uso de sistemas de generación distribuida de origen fotovoltaico para suministrar las necesidades eléctricas de los hogares españoles, teniendo en cuenta la realidad de la edificación y sus consumos, las tecnologías fotovoltaicas y precios representativos del mercado fotovoltaico español actual [2].

Para poder estudiar las capacidades de autoconsumo de edificios residenciales es necesario conocer su consumo. En España la demanda energética de las viviendas varía mucho según la zona climática y el tipo de vivienda. Con diferentes consumos reales recogidos y analizando las cubiertas de tipologías de viviendas representativas de la ciudad de Madrid, se han realizado simulaciones de la generación eléctrica esperable de instalaciones en las cubiertas con la herramienta software de referencia PVSystem, hallando el porcentaje de energía autoconsumida de cada instalación y el ahorro energético-económico que posibilita.

MATERIALES Y MÉTODOS

Consumos eléctricos

Para realizar este trabajo era fundamental conocer la curva de consumo típica de los hogares en España y con ella estudiar las posibilidades de autoconsumo de las viviendas. Actualmente no existen estos datos públicos. De entre los escasos estudios existentes, se han considerado los del Proyecto SECH-SPAHOUSEC (2011) [3], que ofrece datos según zonas climáticas y tipología edificatoria. En particular, la electricidad representa en el conjunto de energías empleadas en los hogares el 35% en la zona Continental, 55% en la Mediterránea y el 46% en la Atlántico. Para la zona de este estudio, la ciudad de Madrid, se ha aproximado el consumo medio eléctrico anual de viviendas en bloque a 3.190 kWh y en unifamiliar a más del doble, 6.583 kWh.

Pero dentro de cada hogar, el consumo no es constante a lo largo del año, sino que varía según las estaciones y los hábitos de cada vivienda. Los datos de consumo empleados para este estudio no han sido fáciles de conseguir al no existir ningún informe oficial del consumo horario medio de una vivienda en España, a pesar de contar todas las viviendas con contadores inteligentes y estar toda la infraestructura digitalizada. La única forma de obtener datos horarios ha sido gracias a voluntarios que se han ofrecido a compartir los suyos personales, recopilando un total de 24 viviendas en Madrid que, en general, presentan consumos importantes fuera del periodo de generación solar. Gracias al software utilizado para este estudio, se han realizado simulaciones horarias de producción eléctrica de todo un año, donde se han incluido los consumos recogidos, previamente normalizados para obtener el perfil típico de consumo a la vez que valores anuales estadísticamente representativos.

Tecnología fotovoltaica utilizada

Las instalaciones fotovoltaicas se colocarían en las cubiertas de los edificios [4]. Esto implica que el espacio está limitado y es fundamental aprovecharlo. Por ello la mejor opción es que los módulos sean de alta eficiencia, para generar la mayor cantidad de energía por superficie disponible. En concreto, se han escogido dos tipos de módulos de tecnologías de silicio monocristalino, con una relación de aspecto de 2:3 típicas del mercado: uno es del fabricante SunPower y cumple con la más alta eficiencia existente comercialmente; el otro es del fabricante LG y representa el sector de los módulos completamente negros, pensados para integración en edificios ya que reducen el impacto visual del generador fotovoltaico. Así, para cada tipología de vivienda considerada se han hecho dos diseños de instalaciones, los cuales varían en potencia eléctrica instalada dadas las diferencias en eficiencia y dimensiones de los módulos constituyentes. En cada caso se ha determinado un equipo inversor (responsable de la conversión continua/alterna de la potencia eléctrica generada por los módulos) escogido según las características eléctricas del generador fotovoltaico y la disponibilidad de equipos comerciales.

Edificios

España es el segundo país europeo con mayor porcentaje de población viviendo en edificio plurifamiliar, el 66%. Globalmente este valor va en aumento debido a la continua migración a las ciudades. Esto presenta la oportunidad de tener agrupados a los consumidores de energía en un mismo lugar. Para este trabajo se han elegido cuatro bloques de viviendas representativos en la ciudad de Madrid que tienen gran presencia (Figura 1), al ser tipologías muy usadas en ciertas épocas de crecimiento de la capital, según el proyecto MODIFICA [5] [6] realizado por la Universidad Politécnica de Madrid. Los edificios considerados son en su mayoría de cinco plantas, altura media de los edificios residenciales en las zonas donde fueron construidos. Además, se ha considerado una tipología de vivienda unifamiliar de especial interés, la cual tiene el doble de demanda energética y mayor proporción de superficie en cubierta por vivienda que en los casos en bloque.

Los edificios presentan dos tipologías de cubierta, plana o inclinada. La primera presenta como ventaja una mejor ventilación de los módulos fotovoltaicos (colocados sobre una estructura que los inclina 30°), lo que permite reducir las pérdidas eléctricas por temperatura. La cubierta inclinada necesita de una estructura de soporte de los módulos más ligera que respete la inclinación de la cubierta (los módulos quedan superpuestos a esta) y produzca un menor impacto visual.

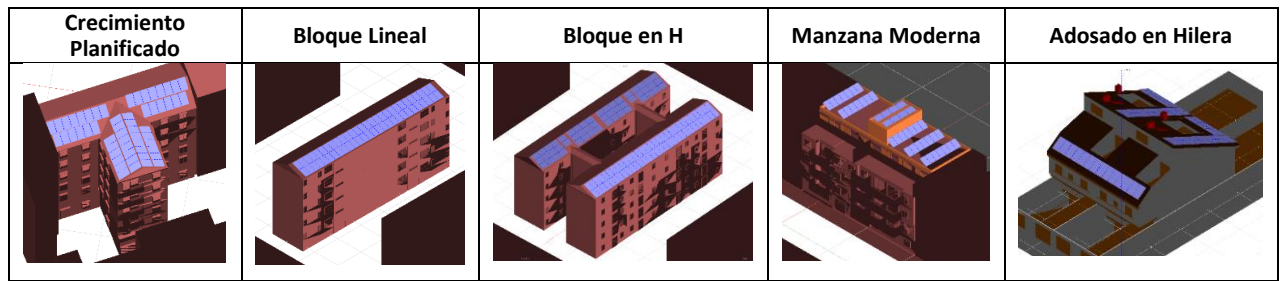


Figura 1: Conjunto de edificios estudiados.

Una instalación fotovoltaica presenta una gran oportunidad para estos edificios debido a que supondrían una mejora en su eficiencia energética. Principalmente son construcciones entre los años 1950 y 2000, lo que implica que necesitan ciertas rehabilitaciones energéticas. El Ministerio de Fomento publicó en 2014 estrategias (ERESEE 2014) basadas en la directiva europea sobre Eficiencia Energética de edificios, y en 2017 elaboró su actualización (ERESEE 2017) [7]. Posteriormente (Real Decreto 106/2018 [8]) se ha regulado el "Plan estatal de vivienda 2018-2021" donde se convocaron subvenciones a la rehabilitación de edificios que, en un futuro, podrían incluir inversiones fotovoltaicas.

Presupuesto de las instalaciones fotovoltaicas

El precio de una instalación fotovoltaica en una cubierta de un edificio varía dependiendo de diferentes factores, fundamentalmente la calidad de los componentes (en especial la de los módulos) y la ubicación del generador, ya que puede incrementar el coste del montaje, si el acceso es complicado, o si necesita estructura de sujeción a medida. Actualmente, las instalaciones típicas en el sector residencial son de inferior potencia a las diseñadas en este trabajo, pero cabe esperar que estas, al contar con un tamaño mayor, tendrían precios más competitivos. El informe anual que publica el Programa de Sistemas Fotovoltaicos de la Agencia Internacional de la Energía (IEA PVPS [9]) recopila los precios típicos de instalaciones fotovoltaicas en diferentes países: en 2017 estos fueron en España de 1,4-1,5 €/W en el sector residencial (típicamente inferiores a 10 kW). Por su parte la patronal del sector, UNEF (Unión Española Fotovoltaica) realiza estudios anuales de precios en nuestro país, siendo en año 2018 algo superiores a los anteriores (1,67-2,19 €/W). Se ha realizado una consulta de precios actualizados de instalaciones de las dimensiones consideradas en este estudio, habiéndose obtenido precios entre 1,21-1,62 €/W que son los considerados aquí para la estimación del precio de las instalaciones. Así, dado que este trabajo considera dos tipologías de módulos diferentes, y que, a mayor eficiencia mayor es el coste de los módulos, se ha supuesto el precio más alto para el modelo de SP y el más bajo para LG.

El precio de la instalación varía según las dimensiones y el tipo de módulo elegido. La instalación diseñada más pequeña de LG supondría unos 16.500€ (en la Manzana Moderna), y la más grande, con tecnología SP, llegaría a 60.000€ (en el Bloque en H). Dependiendo del número de viviendas que hay en cada edificio, la inversión por vivienda supone entre 1.000 y 3.000€ para bloque y sobre 15.000€ para unifamiliar.

RESULTADOS

Las simulaciones de han realizado con el programa PVSyst, teniendo en cuenta las características de cada instalación (módulos, inclinación, orientación...) junto con los datos de irradiancia y temperatura proporcionados por la Agencia Estatal de Meteorología para la ciudad de Madrid [10]. Además, el programa permite representar el edificio y calcular las pérdidas por sombras simulando horariamente la producción solar fotovoltaica. Por último, incluye la opción de incluir consumos horarios y así ofrece de resultado la energía producida, la consumida y la vertida a la red (producción excedentaria con respecto al consumo).

Los resultados de las diferentes simulaciones (Tabla I) muestran que, en algunos edificios, la energía producida por la instalación es mayor a la demandada anualmente por todo el edificio, ilustrando así las interesantes posibilidades que ofrece la generación distribuida fotovoltaica para el autoconsumo en edificios de viviendas.

Con el objeto de valorar el beneficio de la generación fotovoltaica en el edificio, se han calculado de manera diferenciada dos términos que, aunque relacionados, tienen implicaciones distintas: autoconsumo y de autosuficiencia.

Tipo de Edificio	Número de Hogares	Modelo	Potencia kW	Energía generada MWh	Energía consumida fotovoltaica MWh	Energía excedente MWh	Consumo total de viviendas MWh	Energía gener. FV Consumo viviendas
Crecimiento planificado	9	SP	19,6	28,67	12,05	16,62	28,71	100%
		LG	16,5	25,25	11,84	13,41		88%
Bloque lineal	20	SP	17,5	35,31	23,92	11,39	63,80	55%
		LG	17	30,37	22,77	7,6		48%
Bloque en H	40	SP	36	67,45	47,1	20,35	127,60	53%
		LG	33	62,58	46,1	16,48		49%
Manzana Moderna	10	SP	14,5	26,33	12,75	13,58	31,90	83%
		LG	12,5	22,44	12,37	10,07		70%
Adosado Hileras	2	SP	17,1	28,44	6,15	22,29	13,17	216%
		LG	16,5	25,14	6,12	19,02		191%

Tabla I: Balance anual de la energía eléctrica de cada instalación

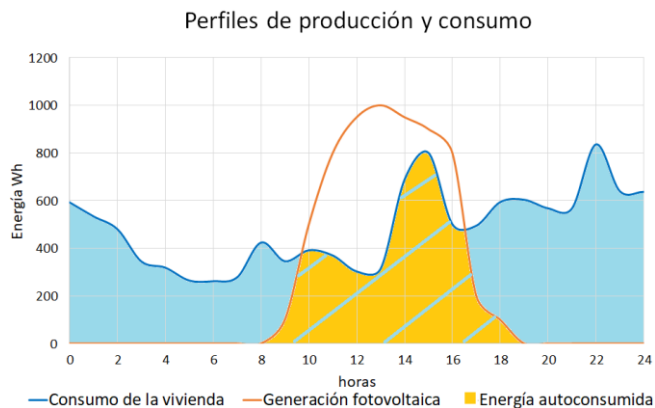
El autoconsumo se define como la relación entre la energía que es consumida *in situ* de la que se genera por la instalación. La autosuficiencia indica la proporción de la demanda de electricidad de la vivienda que es cubierta con la generación local. En la Gráfica 1 se pueden observar un ejemplo de la curva de consumo y la de producción fotovoltaica, que sirven para entender la diferencia entre estos dos conceptos: el numerador en ambas ecuaciones es la energía autoconsumida, pero varía el denominador, en el caso del autoconsumo, sería la generación fotovoltaica y en el de la autosuficiencia, el consumo de la vivienda.

Autoconsumo:

$$\frac{\text{Energía fv consumida}}{\text{Energía generada}}$$

Autosuficiencia:

$$\frac{\text{Energía fv consumida}}{\text{Energía demandada total}}$$



Gráfica 1: Comparación de los perfiles de generación y consumo.

Según se puede observar en la siguiente Tabla II, todas las instalaciones cubren elevados porcentajes de consumo y consiguen gran cantidad de excedentes. Para viviendas en bloque, se aprecia cómo se obtienen niveles de autosuficiencia del 36-47% y niveles de autoconsumo entre el 22-75%. Por otra parte, la última tipología de vivienda, la unifamiliar, tiene mucha energía excedentaria según los valores de autoconsumo, por eso podría aumentarse la comunidad de beneficiarios de una misma instalación. Este caso es de especial interés, ya que en urbanizaciones puede ocurrir que no todas las viviendas tengan buena orientación o cubierta para una instalación fotovoltaica, por eso, colocarla en la mejor ubicación optimizaría la instalación y esta podría beneficiar a varias viviendas. En este caso particular se ha comprobado hasta diez viviendas aprovechando los excedentes de energía de una única instalación fotovoltaica.

Con tanta energía excedentaria se plantean varias opciones especificadas en el Real Decreto 244/2019: ampliar el grupo de consumidores; verterla a la red ajustándose al mecanismo de compensación simplificada; venderse en el mercado o incorporar almacenamiento. La capacidad de almacenar la energía sobrante de la instalación se está ya empleando en distintos países (Alemania, Reino Unido) como un sistema energético distribuido, ya que cuando la red necesita inyectar más energía, las baterías pueden cubrir esa demanda con una respuesta rápida, en vez de tener que arrancar una gran central. De verterse a la red, el autoconsumo acogido a compensación simplificada consiste en un

balance entre los precios de la energía comprada y vertida en cada periodo de facturación, el precio de esta última puede acordarse previamente con la comercializadora o ser el precio de la energía excedentaria del autoconsumo para el mecanismo de compensación simplificada de Precio de Voluntario del Pequeño Consumidor (PVPC).

Tipo de Edificio	Inclinación [acimut]	número Viviendas	Modelo	número Módulos	Potencia kWp	Autoconsumo	Autosuficiencia
Crecimiento planificado	30º [90,0,-90]	9	SP	56	20,16	42%	42%
			LG	56	17,92	47%	41%
Bloque lineal	20º [0]	20	SP	56	20,16	68%	38%
			LG	54	17,28	75%	36%
Bloque en H	22º [0]	40	SP	104	37,4	70%	37%
			LG	110	35,2	74%	36%
Manzana Moderna	30 + 15º [0]	10	SP	43	15,48	48%	40%
			LG	43	13,76	55%	39%
Adosado en Hilera	35[90] + 25[-90]	2	SP	54	19,44	22%	47%
			LG	54	17,28	24%	47%
		10	SP	54	19,44	77%	33%
			LG	54	17,28	82%	31%

Tabla II: Resultados de Autoconsumo y Autosuficiencia

Se ha realizado una aproximación del ahorro anual en el precio que se pagaría por la electricidad si se contara con las instalaciones diseñadas en cada edificio (Tabla III). En este estudio se ha considerado el precio horario del término de facturación de energía activa del PVPC peaje por defecto del año 2018, lo que ha permitido calcular el coste anual de la compra de la electricidad típico, así como el ahorro económico que experimentarían los consumidores con la instalación fotovoltaica. Además, se han valorado los excedentes con el precio de la energía excedentaria del autoconsumo para el mecanismo de compensación simplificada (PVPC) para calcular el coste que tendrían los excedentes si se vendieran, con lo que se compensaría el precio de la energía comprada. En el momento de escribir este artículo no existe datos de un año entero, por lo que se ha extrapolado la relación horaria del precio de la energía excedentaria del autoconsumo para el mecanismo de compensación simplificada con el término de facturación de energía activa del PVPC de los meses existentes.

Tipo de Edificio	Viviendas	Modelo	Total al año			Por vivienda al año			
			Sin fotovoltaica	Con Fotovoltaica	Ahorro	Sin fotovoltaica	Con Fotovoltaica	Ahorro	Ahorro
Crecimiento planificado	9	SP	3.555 €	1.266 €	2.289 €	395 €	141 €	254 €	64%
		LG		1.387 €	2.168 €		154 €	241 €	61%
Bloque lineal	20	SP	7.899 €	4.355 €	3.544 €		218 €	177 €	45%
		LG		4.697 €	3.202 €		235 €	160 €	41%
Bloque en H	40	SP	15.798 €	8.926 €	6.872 €		223 €	172 €	43%
		LG		9.258 €	6.540 €		231 €	163 €	41%
Manzana Moderna	10	SP	3.949 €	1.665 €	2.284 €		167 €	228 €	58%
		LG		1.898 €	2.051 €		190 €	205 €	52%
Adosado Hilera	2	SP	1.631 €	223 €	1.408 €	816 €	112 €	704 €	86%
		LG		262 €	1.369 €		131 €	685 €	84%
	10	SP	8.156 €	5.110 €	3.046 €		511 €	305 €	37%
		LG		5.373 €	2.783 €		537 €	278 €	34%

Tabla III: Balance económico de la compra venta de electricidad según cada instalación.

El ahorro medio que se produce anualmente en la vivienda en bloque es 200€. Según este ahorro anual, el tiempo de recuperación de la inversión varía entre 7 y 15 años. Para la vivienda unifamiliar los valores cambian cuando la instalación solo cuanta con dos viviendas que aprovechan la energía, anualmente el ahorro podría suponer sobre 1.100€ si se compensaran todos los excedentes, pero en meses de verano la producción es mucho mayor al consumo y dividiendo en periodos de facturación, solo se compensaría una parte equivalente al ahorro de 700€ anuales. La inversión tarda más en recuperarse por esa parte de energía no compensada, sobre 20 años. Resulta interesante

ampliar la comunidad de autoconsumo, ya que con 10 viviendas dependiendo de esa instalación, la inversión que realizaría cada vivienda supondría 2.000€ y los tiempos de recuperación de la inversión serían más cortos, sobre 8 años.

CONCLUSIONES

Las ciudades están formadas por numerosos edificios con altos potenciales fotovoltaicos al tener mayoritariamente las cubiertas infrautilizadas, donde podrían ubicarse sistemas de generación distribuida para autoconsumo, reduciendo así la dependencia energética del exterior. Los resultados del estudio aquí presentado realizado sobre tipologías de edificios representativos de la ciudad de Madrid son muy prometedores: como primer acercamiento a las instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo compartido se ha demostrado que, aunque el espacio en cubierta sea limitado, permite cubrir más del 35% de la demanda de todos los hogares y tener excedentes de electricidad. Además, se produciría un ahorro anual mínimo en el término variable de la factura de electricidad del 40%, teniendo en cuenta la energía que no ha sido necesaria comprar y el balance de la energía excedentaria vertida a la red. En lo que respecta a los excedentes, en algunos casos podrían cubrir la demanda eléctrica anual de toda la comunidad de propietarios, lo que abre distintos escenarios para su aprovechamiento, bien sea mediante su venta a la red con la compensación en la factura eléctrica o mediante su uso a través de sistemas de almacenamiento locales. Se concluye que, los edificios de viviendas pueden generar gran parte de la energía que consumen y tener un papel activo en la producción eléctrica, participando en la generación distribuida y reduciendo la demanda energética externa de las ciudades. Además, estas instalaciones en las viviendas permitirían hacer partícipes a muchas personas de mitigar el cambio climático siendo ellas las primeras que elijan y fomenten las energías renovables, además de reducir el coste de sus facturas de la electricidad.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo logra su importancia gracias a los 24 voluntarios que cedieron sus datos personales para poder realizar un estudio que muestra unos resultados acordes con la realidad.

REFERENCIAS

- [1] Gobierno de España, «Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica.» Ministerio para la Transición Ecológica, I. Disposiciones generales, 6 de abril de 2019.
- [2] C. Sanchez Mayoral, «Autoconsumo compartido de electricidad solar fotovoltaica en entornos residenciales,» *Trabajo Fin de Máster, Máster en Energía Solar Fotovoltaica, Instituto de Energía Solar, UPM*, Julio 2019.
- [3] IDAE, Informe Final Proyecto SECH-SPAHOUSEC, 2011.
- [4] G. Masson, J. I. Briano y M. J. Baez, «Review and Analysis of PV Self-Consumption Policies,» de *IEA-PVPS, T1-28:2016*, 2016, p. 8.
- [5] F. J. Gonzalez Neila, «Proyecto Modifica,» ABIO Arquitectura Bioclimática en un entorno sostenible. UPM, 2014-2017. [En línea]. Available: <http://abio-upm.org/project/modifica/>. [Último acceso: 28 Junio 2019].
- [6] H. Lopez Moreno, «Hacia una evaluación energética de la influencia de la isla de calor urbana en la morfológica urbana de Madrid,» de *Trabajo Fin de Master, Máster de medio Ambiente y Arquitectura Bioclimática. MAYAB, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, UPM*, Marzo 2016, p. 30.
- [7] M. d. Fomento, «Actualización de la Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España,» ERESEE 2017, Gobierno de España, 2017.
- [8] Gobierno de España, «Real Decreto 106/2018, de 9 de marzo, por el que se regula el Plan Estatal de Vivienda 2018-2021.,» «BOE» núm. 61, p. 28868 a 28916, 10 de marzo de 2018.
- [9] IEA, UNEF y J. Donoso, «Trends 2018 in Photovoltaic Applications. Survey Report of Selected IEA Countries between. National Survey Report,» IEA PVPS, 2018.
- [10] AEMET, «Atlas de radiación solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT,» 1983-2005.