

## Memoria del Proyecto de investigación

### **ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD ENERGÉTICA DE LAS INSTALACIONES CON AUTOCONSUMO CON SISTEMAS DE ACUMULACIÓN**

Fundación Renovables

Madrid, noviembre de 2018

Participantes en este proyecto:

**Llanos Mora López**

**Mariano Sidrach de Cardona Ortín**

**Carlos Esteban González González**

**Raquel Paude Martín**

**Alejandro Ayala Gilardón**

**Juan Carlos Gíl Piña**

**Fundación Renovables**

(Declarada de utilidad pública)

Pedro Heredia 8, 2º Derecha

28008 Madrid

[www.fundacionrenovables.org](http://www.fundacionrenovables.org)

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>4</b>
<b>2. ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD ENERGÉTICA DE LAS INSTALACIONES DE AUTOCONSUMO CON SISTEMAS DE ACUMULACIÓN PARA DISTINTOS SECTORES DE APLICACIÓN, EN FUNCIÓN DE LOS TIPOS DE CARGAS.</b>	<b>6</b>
4.1. METODOLOGÍA	6
2.3. DIMENSIONADO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA AUTOCONSUMO CON BATERÍAS.	24
4.2. RESULTADOS DE INSTALACIONES DE AUTOCONSUMO SIN BATERÍAS	27
4.3. RESULTADOS DE INSTALACIONES DE AUTOCONSUMO CON BATERÍAS	32
<b>3. ELABORACIÓN DE UN DOCUMENTO SOBRE BUENAS PRÁCTICAS PARA EL DESARROLLO DEL AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO</b>	<b>41</b>
<b>4. ESTUDIO DE LOS INCENTIVOS MUNICIPALES AL DESARROLLO DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE AUTOCONSUMO</b>	<b>43</b>
4.1. LEGISLACIÓN ACTUAL SOBRE IMPOSICIÓN LOCAL	43
4.2. COMPARATIVA BONIFICACIONES AL IMPUESTO SOBRE BIENES INMUEBLES	49
4.3. CLASIFICACIÓN DE MUNICIPIOS POR BONIFICACIONES DEL IBI	53
4.4. COMPARATIVA DE BONIFICACIONES AL IMPUESTO DE CONSTRUCCIONES INSTALACIONES Y OBRAS ICIO	56
4.5. CLASIFICACIÓN DE MUNICIPIOS POR BONIFICACIONES DE ICIO	59
<b>5. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>63</b>

## 1. Introducción

Las energías renovables están llamadas a jugar un papel cada vez más importante dentro del mix energético actual. Las deficiencias y desequilibrios que presenta este sistema energético han propiciado el desarrollo, desde la Comisión Europea, de políticas comunitarias encaminadas a lograr la reducción del consumo de energía, (Directiva 2010 31 UE, 2010). En este sentido, según los datos incluidos en el Informe 2016 publicado por la International Energy Agency (Report IEA, 2017), en el año 2016 se instalaron en el mundo un total de 75 GW de energía solar fotovoltaica. Este fuerte crecimiento mundial de la potencia fotovoltaica instalada se ha producido, por una parte, gracias a la madurez tecnológica de estos sistemas y, por otra, a la importante bajada de precios. Además, las políticas que se han ido implantando en los últimos años en distintos países han contribuido también, de manera importante, a este crecimiento.

En el caso de instalaciones fotovoltaicas en viviendas y pequeñas instalaciones comerciales, conocer y hacer una estimación de cuál será su producción puede ayudar a conseguir una optimización del autoconsumo y, como consecuencia, ayudar a mejorar su rentabilidad e integración de esta tecnología en la red de distribución. En el mercado fotovoltaico, cada vez están teniendo más importancia estas instalaciones que se realizan en viviendas o edificios, integradas en la ciudad. En ellas, y con las configuraciones tradicionales más comunes del mercado actual, la demanda de electricidad es cubierta por la producción fotovoltaica siempre que los perfiles de generación y consumo coincidan. Además, si la producción en un instante es superior al consumo, el excedente se vierte a la red. Es indudable que la autogeneración de energía eléctrica utilizando tecnología fotovoltaica es una oportunidad y una herramienta imprescindible para alcanzar los objetivos relacionados con el cambio climático a los que España se ha comprometido, reducir el impacto medioambiental de la generación eléctrica y democratizar el uso y gestión de la energía, situando al ciudadano en el centro del sistema; muchos países, a nivel mundial, así lo han entendido.

En los últimos años, y gracias al crecimiento que está produciéndose de este tipo de instalaciones, se ha comenzado a hablar de viviendas autosuficientes y viviendas de energía cero. Una vivienda o un edificio de energía cero (conocidas como ZEB, Zero Energy Building) es un concepto que se utiliza en edificios con un balance energético entre la generación y el consumo de energía cercano a cero o, incluso, nulo o positivo en un año típico, (NREL, 2006), (NREL, 2010). El desarrollo masivo de este tipo de viviendas podría mitigar problemas económicos y medioambientales, tales como las emisiones de CO<sub>2</sub> y la dependencia de fuentes de energía fósiles. Para conseguir el objetivo de viviendas ZEB, la tecnología fotovoltaica puede desempeñar un papel destacado. Además, hay que tener en cuenta que, en el momento actual, para esta tecnología, la paridad con la red en el segmento residencial es una realidad en muchos enclaves del mundo, (Bloomberg Finance, 2015), como puede ser España, (Creara Energy Experts Report, 2015). Es por ello por lo que el autoconsumo fotovoltaico se ha convertido en los últimos años en la principal herramienta para fomentar la generación distribuida y contribuir así a la reducción del estrés de las líneas de distribución eléctrica<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Luthander, R. and Widén, J. and Nilsson, D., Palm, J. Photovoltaic self-consumption in buildings: A review. Applied Energy 142, 80-94. 2015.

El análisis de los sistemas fotovoltaicos de autoconsumo permitirá determinar los distintos escenarios que definen las condiciones de optimización de este tipo de sistemas. Esta optimización dependerá, por una parte, de cuál es la disponibilidad energética (condiciones meteorológicas) en el emplazamiento de la instalación y, por otra parte, de cómo son las cargas de la vivienda (optimización energética). La optimización del autoconsumo requiere, por tanto, considerar distintas variables, que cambian a lo largo del periodo de funcionamiento de la instalación. En primer lugar, hay que tener en cuenta que las condiciones de operación de estos sistemas dependen de su recurso energético, la radiación solar, que tiene una variación diaria (sucesión día-noche), anual (estacionalidad) y estocástica (debida a la atenuación variable en la atmósfera) no fácilmente predecible. En segundo lugar, hay que considerar que los consumos de una vivienda también son variables.

Hasta la fecha, en los sistemas fotovoltaicos de autoconsumo sin baterías, la única variable sobre la que se puede actuar para mejorar la eficiencia de estos sistemas son las cargas o demanda energética de las viviendas en las que están instalados. La propuesta de nuevos diseños que adapten el perfil de producción al perfil de demanda abriría un campo inexplorado en el sector. Por todo ello, en los últimos años se ha empezado a utilizar el concepto de gestión del lado de la demanda (en inglés, demand side management, DSM) o gestión activa de la demanda, cuyo objetivo es mejorar el sistema energético de la vivienda “interviniendo” en el consumo<sup>2</sup>; básicamente, se trata de “desplazar” las demandas de potencia de las cargas en la vivienda para hacerlas coincidir con la producción fotovoltaica.

Atendiendo al estado de conocimientos descritos anteriormente, se plantean las siguientes hipótesis de partida para el proyecto:

- Los métodos de diseño clásico de sistemas fotovoltaicos conectados a red no ofrecen una respuesta adecuada al problema de la optimización del uso de la energía en sistemas fotovoltaicos de autoconsumo ya que no utilizan como parámetro de análisis ni variable de decisión el perfil de demanda que pretenden satisfacer.
- Un análisis del autoconsumo y la autosuficiencia para instalaciones fotovoltaicas de pequeño y medio tamaño puede ayudar al mejor diseño y funcionamiento de este tipo de instalaciones gracias a la detección de las mejores configuraciones en función de los perfiles de consumo y las condiciones climáticas del emplazamiento de la instalación.

El correcto dimensionado de estos sistemas debe ser un compromiso entre los ahorros energéticos que se producen y la inversión necesaria. Teniendo en cuenta que el intercambio de energía se realiza de forma instantánea, para conocer estos ahorros es fundamental conocer de la forma más precisa posible la curva de consumo. Además, el aumento los porcentajes de energía autoconsumida y por tanto la mejora de los ahorros

---

<sup>2</sup> Palensky P, Dietrich D. Demand side management: demand response, intelligent energy systems, and smart loads. IEEE Trans Ind Inform, 7(3):381–8, 2011.

Emil Nyholm, Mikael Odenberger, Filip Johnsson. An economic assessment of distributed solar PV generation in Sweden from a consumer perspective – The impact of demand response, Renewable Energy, 108, pp. 169-178, 2017.

pasa bien por hacer una gestión activa de la demanda como por la utilización de sistemas de acumulación (baterías)

En este trabajo de investigación queremos estudiar la evolución de los ahorros energéticos que se producen en instalaciones de autoconsumo fotovoltaico, que por sus características deberían permitir coeficientes de autoconsumo importantes, así como la evolución de estos con la potencia pico instalada. Se realiza un análisis comparativo entre sistemas con y sin sistema de acumulación. En este proyecto vamos a determinar qué criterios podemos determinar en el diseño de sistemas fotovoltaicos de autoconsumo para conseguir una optimización de los factores de autoconsumo y autosuficiencia para este tipo de sistemas en condiciones reales de operación, con la incorporación de sistemas de acumulación. Este análisis debe permitir hacer recomendaciones sobre cuál debería ser la potencia pico óptima tanto de los paneles fotovoltaicos como del sistema de acumulación y de qué parámetros depende.

Por último, se realiza un estudio de los incentivos municipales al desarrollo de los sistemas fotovoltaicos de autoconsumo.

## **2. Análisis de la viabilidad energética de las instalaciones de autoconsumo con sistemas de acumulación para distintos sectores de aplicación, en función de los tipos de cargas.**

### **4.1. Metodología**

Para la realización de este estudio se han seleccionado tres ciudades españolas pertenecientes a diferentes zonas climáticas, Santander, Madrid y Málaga. Para cada una de estas localidades, se han determinado perfiles de consumo horario pertenecientes a una vivienda unifamiliar y a un piso.

Los datos meteorológicos horarios de radiación incidente, temperatura ambiente y velocidad de viento de han obtenido de la base de datos de Photovoltaic *Geographical Information System* (PVGIS), que nos permite obtener datos de un año meteorológico tipo para cada localidad.

En España no se disponen de datos de perfiles horarios de consumo disgregados para aplicaciones domésticas. Hemos utilizado la base de datos de consumos recogidos por el Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL) de Estados Unidos para ciudades estadounidenses que tienen condiciones climáticas similares a las ciudades españolas objeto de este estudio.

La metodología utilizada en este estudio consiste en realizar balances horarios entre producción fotovoltaica y consumo con el fin de calcular, por un lado, la eficiencia del sistema y, por otro lado, los coeficientes de autosuficiencia y autoconsumo.

Después se estudia la sensibilidad de estos coeficientes con la potencia pico instalada. Primero en instalaciones conectadas a red sin sistema de acumulación, para estudiar a continuación como varían estos

coeficientes cuando tenemos un sistema de acumulación y cómo es su sensibilidad tanto con el tamaño del generador como con el tamaño de la batería.

Para el análisis y modelizado del funcionamiento de sistemas fotovoltaicos de autoconsumo es necesario considerar el emplazamiento en el que están ubicados estos sistemas, ya que los niveles de irradiancia y temperatura que incidan en el sistema son los que determinarán su producción. De cara a poder analizar el funcionamiento de estos sistemas en diferentes condiciones climáticas, en este capítulo se van a determinar las características de las localidades que se utilizarán.

Así, para continuar con el proceso descrito en el capítulo de Introducción, y de cara a poder desarrollar modelos para la predicción de la energía diaria generada por un sistema fotovoltaico en función del emplazamiento el primer paso es determinar cuáles serán estos emplazamientos, de manera que las localidades seleccionadas correspondan a distintos tipos de clima. Con este objetivo, para elegir los distintos emplazamientos se ha tenido en cuenta el informe final del proyecto SECH-SPAHOUSEC en su documento “Análisis del consumo energético del sector residencial en España”, realizado por el IDAE (IDAE, 2011), en el cual se establece una distribución territorial de las zonas climáticas en España, distinguiéndose tres tipos de clima, los cuales son:

- Clima Atlántico Norte.
- Clima Continental.
- Clima Mediterráneo.

Teniendo en cuenta las tres zonas climáticas en España, se ha optado por elegir los tres emplazamientos que se relacionan a continuación, uno de cada una de estas zonas:

- Para la zona climática Norte:Santander.
- Para la zona climática Continental:Madrid.
- Para la zona climática Mediterránea:Málaga.

En la figura 1 se muestran la distribución territorial de las zonas climáticas de España (figura obtenida del citado informe).



Figura 1. Distribución territorial de las zonas climáticas en España (Fuente: Informe Final proyecto SECH-SPAHOUSEC, IDAE, 2011)

Utilizando datos de la [Aemet](#) (Agencia Estatal de meteorología) los parámetros meteorológicos que caracterizan las ciudades españolas seleccionadas son los siguientes:

- Temperatura media mensual/anual (°C), T
- Precipitación mensual/anual media (mm), R
- Humedad relativa media (%), H
- Número medio mensual/anual de días de precipitación superior o igual a 1 mm, DR
- Número medio mensual/anual de días de nieve, DN
- Número medio mensual/anual de días de tormenta, DT
- Número medio mensual/anual de días de niebla, DF
- Número medio mensual/anual de días de helada, DH
- Número medio mensual/anual de días despejados, DD
- Número medio mensual/anual de horas de sol, I

En las tablas Tabla 1. Valores de distintos parámetros meteorológicos para la estación de Málaga (aeropuerto). se muestran los valores de cada uno de estos parámetros para los tres emplazamientos seleccionados.

#### Málaga (Aeropuerto)

Periodo: 1981-2010 - Altitud (m): 5  
 Latitud: 36° 39' 58" N - Longitud: 4° 28' 56" O



Tabla 1. Valores de distintos parámetros meteorológicos para la estación de Málaga (aeropuerto).

Mes	T	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	12,1	69	69	5,8	0	1,3	0,7	0,1	7,9	180
Febrero	12,9	60	68	4,8	0	1,2	1	0,1	6,3	180
Marzo	14,7	52	67	4	0	0,9	1,3	0	5,9	222
Abril	16,3	44	63	4,5	0	1,4	0,4	0	5,7	244
Mayo	19,3	20	59	3,1	0	1,1	0,7	0	7,3	292
Junio	23	6	58	0,8	0	0,7	0,6	0	14	329
Julio	25,5	0	58	0,1	0	0,2	0,8	0	20,6	347
Agosto	26	6	61	0,5	0	0,7	0,9	0	17,1	316
Septiembre	23,5	20	65	2,1	0	1,5	0,7	0	9,3	255
Octubre	19,5	57	70	4,4	0	1,5	1,4	0	6	215
Noviembre	15,7	100	71	5,6	0	1,3	0,9	0	5,6	172
Diciembre	13,2	100	72	6,6	0	1,5	0,8	0	5,6	160
Año	18,5	534	65	42,3	0	13,4	10,4	0,2	109,1	2905

### Madrid (Cuatro Vientos)

Periodo: 1981-2010 - Altitud (m): 690

Latitud: 40° 22' 32" N - Longitud: 3° 47' 10" O

Tabla 2. Valores de distintos parámetros meteorológicos para la estación de Madrid (Cuatro Vientos).

Mes	T	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	6.0	34	75	5.6	1.3	0.0	6.0	10.1	7.7	158
Febrero	7.6	35	67	5.3	1.4	0.1	3.1	5.4	5.9	173
Marzo	10.8	25	57	4.2	0.4	0.4	0.9	1.9	7.1	221
Abril	12.6	43	56	6.7	0.3	1.6	0.6	0.3	4.9	238
Mayo	16.5	50	53	7.2	0.0	3.5	0.2	0.1	4.3	280
Junio	22.2	24	43	3.2	0.0	2.8	0.1	0.0	8.9	316
Julio	25.6	12	36	1.6	0.0	2.6	0.0	0.0	17.0	364
Agosto	25.1	11	39	1.4	0.0	1.7	0.0	0.0	13.3	335
Septiembre	21.0	24	49	3.2	0.0	2.0	0.3	0.0	7.7	250
Octubre	15.2	60	65	6.9	0.0	1.1	1.3	0.0	6.4	203
Noviembre	9.8	57	73	6.7	0.1	0.2	3.4	2.1	6.3	161
Diciembre	6.7	53	77	6.8	0.9	0.1	5.5	7.3	6.0	135
Año	14.9	428	58	58.8	4.5	16.2	21.4	27.3	94.7	2838

## Santander (Aeropuerto)

Periodo: 1981-2010 - Altitud (m): 3

Latitud: 43° 25' 26" N - Longitud: 3° 49' 32" O

**Tabla 3. Valores de distintos parámetros meteorológicos para la estación de Santander (aeropuerto).**

Mes	T	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	9,7	106	72	12,3	0,4	0,8	0,8	2,1	2,9	85
Febrero	9,8	92	72	11,1	0,3	1,1	0,9	1,2	3,1	104
Marzo	11,3	88	71	9,9	0,1	0,9	1,2	0,4	2,9	135
Abril	12,4	102	72	11,9	0	1,3	0,7	0	2,4	149
Mayo	15,1	78	74	10,4	0	1,6	1,7	0	2,4	172
Junio	17,8	58	75	7,6	0	1,8	1,2	0	3,7	178
Julio	19,8	52	75	7,3	0	2	0,5	0	4,5	187
Agosto	20,3	73	76	7,6	0	1,4	0,8	0	3,8	180
Septiembre	18,6	83	76	8,9	0	1,5	1,9	0	4,6	160
Octubre	16,1	120	75	11,1	0	1	2,1	0	2,8	129
Noviembre	12,5	157	75	13,3	0	1,3	0,9	0,4	3,2	93
Diciembre	10,5	118	73	12,1	0,1	0,9	0,6	2	3,4	74
Año	14,5	1129	74	123,6	0,9	15,7	13,4	6,2	38,9	1649

Los datos utilizados corresponden al año meteorológico típico (TMY) del Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica (PVGIS) de la Comisión Europea. A partir de estos valores se han obtenido los datos de temperaturas medias mensuales máximas y mínimas, así como los valores de radiación medios mensuales, los cuales se muestran en las tablas Tabla 4 Tabla 5 Tabla 6.

**Tabla 4. Temperaturas medias máximas mensuales (°C).**

Localidad	Tmax,m	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Madrid	20,3	10,0	9,7	17,4	20,7	22,8	27,0	33,9	33,7	26,5	20,6	12,6	9,9
Málaga	19,8	14,9	15,8	15,8	17,1	20,5	23,2	24,7	26,3	23,9	21,9	17,7	15,1
Santander	18,7	12,1	14,3	16,6	16,6	20,0	21,5	22,7	24,7	22,2	21,7	17,6	14,2

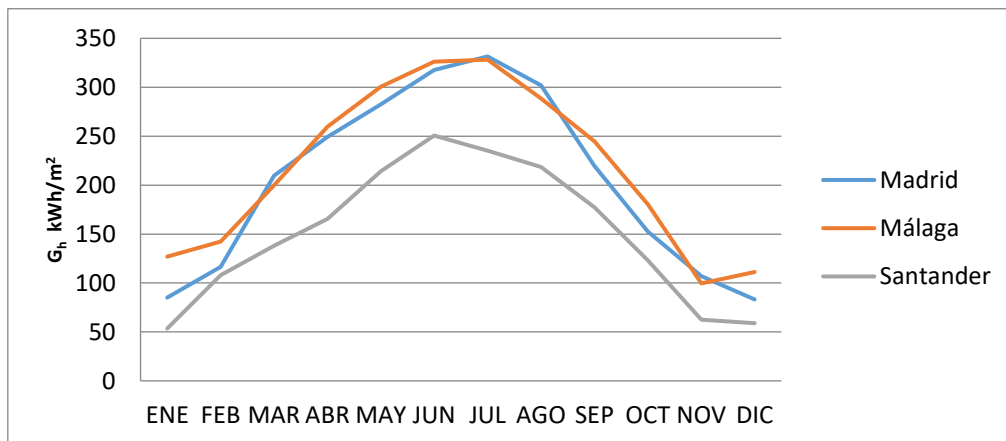
**Tabla 5. Temperaturas medias mínimas mensuales (°C).**

Localidad	Tmin,m	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Madrid	9,8	3,1	2,3	4,1	9,5	12,0	14,9	20,7	19,5	15,7	10,4	3,8	1,8
Málaga	16,7	11,1	12,3	12,8	13,6	17,1	20,0	22,3	24,2	21,3	19,1	14,6	12,1
Santander	11,8	6,9	6,3	8,4	10,1	12,7	15,3	16,5	17,3	14,4	13,7	12,2	7,8

**Tabla 6. Valores de radiación horaria media mensual (kWh/m<sup>2</sup>).**

Localidad	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Madrid	85,07	116,52	209,73	249,23	282,61	317,78	331,51	301,96	219,47	152,35	107,04	83,15
Málaga	126,83	142,18	199,76	259,80	300,55	326,14	328,19	288,65	244,65	180,12	99,58	111,26
Santander	53,47	107,89	138,00	165,46	214,23	250,64	235,11	218,54	177,17	123,08	62,37	59,02

Finalmente, en la Figura 2 se muestran los valores medios mensuales de radiación global horaria para cada uno de los tres emplazamientos seleccionados.



**Figura 2. Valores medios mensuales de radiación global horaria (kWh/m<sup>2</sup>).**

Para cada uno de estos emplazamientos no se dispone de datos horarios de consumo a lo largo de, al menos, un año. Por ello, y como se describe en el capítulo dedicado al análisis de los consumos residenciales que se van a utilizar en este trabajo, se ha decidido utilizar perfiles de consumo horarios obtenidos de distintas localidades en USA. Estos perfiles de consumo residenciales se han elaborado a partir de la propuesta hecha en el estudio “Building America House Simulation Protocols” (Hendron y Engebrecht, 2010). Este estudio pretende desarrollar y aplicar los avances tecnológicos que ya existen en materia de energía. Los perfiles de consumo que se han propuesto pretenden ser una referencia común que sea utilizada en estudios e investigaciones relacionadas con consumos energéticos en viviendas. Los datos se han obtenido de la plataforma OpenEnergyInfo (OpenEI) de NREL. OpenEI es una plataforma web que permite acceder a datos relacionados con energías renovables y eficiencia energética. La plataforma permite a los usuarios ver, editar, agregar y descargar datos de forma gratuita.

Los perfiles de consumo de vivienda que se van a utilizar para este estudio son, por tanto, registros horarios de años completos, con el objetivo de obtener, a partir de ellos, resultados lo más precisos posible y que correspondan lo más fielmente a consumos reales.

Con el objetivo de obtener para cada uno de los emplazamientos seleccionados los consumos que le corresponderían según las condiciones climatológicas del sitio, se ha hecho un análisis para determinar qué localidades de USA presentan las condiciones climáticas más similares a las de las localidades españolas seleccionadas. Para ello, se ha realizado una búsqueda de estas localidades a partir de los valores horarios de radiación y temperatura disponibles en la aplicación desarrollada en el marco del OpenCarto, que es un sistema de información geográfica web (web GIS) desarrollado por el equipo Geospatial Data Science del National Renewable Energy Laboratory (NREL) <https://maps.nrel.gov/nsrdb-viewer>. De esta plataforma se han obtenido los datos incluidos en la versión del Año Típico Meteorológico (TMY y TMY3), para las distintas ciudades de Estados Unidos.

Para la búsqueda de las tres ciudades de Estados Unidos más semejantes a las españolas se han tenido en cuenta los parámetros conocidos de las localizaciones españolas, los cuales son:

- Latitud
- Radiación
- Altitud
- Temperatura

Partiendo por tanto de la latitud, radiación y altitud se ha hecho una primera selección de localidades de USA. Para realizar esta selección, se ha tenido también tener en cuenta los efectos apuntados por Kaspi and Schneider (2011), debidos a las ondas de Rossby que son grandes ondas atmosféricas, con longitudes de ondas de más de 1.000 millas y que se forman debido a la rotación de la tierra (efecto Coriolis). Esto hace que las ciudades de Estados Unidos de la Costa Atlántica, y en especial las del Norte, con igual latitud que las ciudades europeas puedan tener unas temperaturas inferiores de hasta 10 °C. Esto mismo también ocurre entre las ciudades de la costa de Estados Unidos de la bañadas por el Océano Pacífico con las ciudades de Asia bañadas por el mismo mar y que tienen igual latitud, siendo también estas últimas más fría. Por ello, para buscar ciudades costeras con latitud, temperatura y radiación parecidas a las ciudades españolas habrá que centrarse en las ciudades costeras bañadas por el océano Pacífico y, a ser posible, con una altura semejante.

Teniendo en cuenta todos estos criterios, se han seleccionado localidades de Estados Unidos para realizar el análisis de similitud de parámetros meteorológicos. Los datos que se han utilizado han sido obtenidos del Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL) de Estados Unidos. En concreto, se han utilizado los valores del Año Meteorológico Típico (TMY y TMY3). Para poder seleccionar las localidades de Estados Unidos de las que se utilizarán los datos de consumo, de forma que tengan parámetros meteorológicos similares a las ciudades españolas que se van a utilizar en este trabajo, se ha hecho un análisis comparativo de cada una

de estas con cada una de las localidades españolas. Para este análisis comparativo se han utilizado distintas pruebas estadísticas de homogeneidad.

Los resultados de este estudio indican que las ciudades de Estados Unidos con valores climáticos homologables estadísticamente a las ciudades españolas son las siguientes:

- Málaga-San Diego
- Madrid-San José
- Santander-Atlanta

De manera, que podemos ir ahora a los perfiles de consumo doméstico típico de estas ciudades y utilizarlos como datos de entrada en nuestro modelo de simulación que nos predice la energía producida por un sistema fotovoltaico conectado a red.

En la base de datos del NREL, para cada una de estas ciudades tenemos disponibles tres niveles de consumo, que se denominan (alto, base y bajo).

Estos consumos los podemos comparar con los consumos de las ciudades españolas publicados por el IDEA, con el fin de elegir cuál de todos ellos podemos utilizar para este estudio.

Con el fin de comparar estos consumos, hemos considerado que todos los consumos de la vivienda son eléctricos.

En la tabla pueden verse una comparativa entre los valores medios diarios anuales de consumo para las tres ciudades norteamericanas, obtenidos de los datos de la base de datos de NREL y los proporcionados por el IDAE para las localidades españolas en kWh

**Tabla 7. Valores medios diarios mensuales en kWh de consumo en las diferentes ciudades por tipo de vivienda.**

	San Diego	Málaga	San José	Madrid	Atlanta	Santander	
<b>ALTO</b>	63.5		90.6		104.9		
		46.6		58.7		59.4	<b>Unifamiliares</b>
<b>BASE</b>	39.2		59.0		63.1		
		19.3		27.5		24.6	<b>Pisos</b>
<b>BAJO</b>	22,9		27.0		27.0		

De acuerdo con los consumos totales de la tabla 7, los consumos de los pisos en España se parecen en valores diarios a los consumos bajos en Estados Unidos y en las viviendas unifamiliares a los consumos medios. Los consumos llamados altos en Estados Unidos no se corresponden con los hábitos de consumo de las viviendas en España.

Ahora bien, no todas las viviendas tienen el mismo patrón de consumo. Aparte de las características constructivas de cada vivienda y la zona climática en la que se ubica, el consumo energético de una vivienda viene determinado por el número de ocupantes, la edad y las condiciones socioeconómicas de los mismos. Un estudio publicado por Opower en 2014, diferenciaba varios perfiles de consumo en el sector doméstico. Así las curvas de perfil horario que presentan un doble pico con consumos importantes en la mañana y en la noche corresponden a familias en las que sus miembros trabajan fuera de casa. Sin embargo, una curva con un solo pico corresponde a familias que durante el día trabajan en casa o realizan tareas en la misma.

En la figura 3 puede verse el perfil horario medio para los consumos alto, medio y bajo de la Ciudad de San Diego. Como puede observarse corresponde a una curva de doble pico con dos máximos centrados en las 7 de la mañana y en las 8 de la tarde. La forma de la curva es la misma en los tres consumos, con la única diferencia de la intensidad de estos.

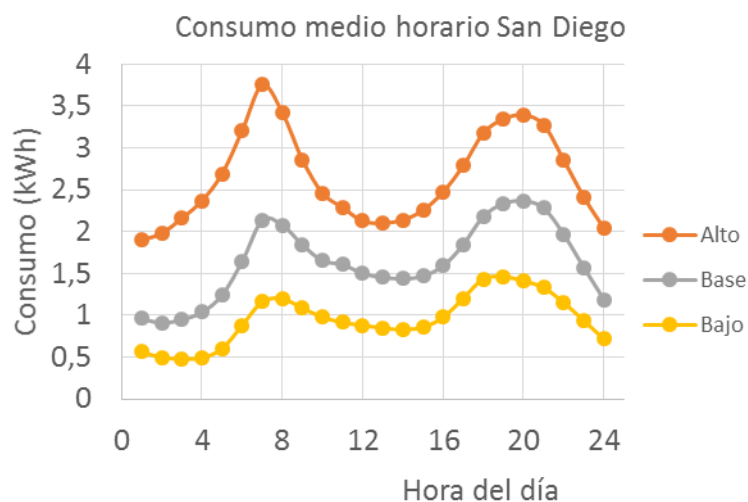


Figura 3. Valores medios horarios de los consumos en San Diego.

En las figuras 4 y 5 se presentan los perfiles horarios de las ciudades de San José y Atlanta. Podemos observar que el comportamiento horario del consumo es el mismo que en San Diego. Podemos concluir que el patrón de consumo horario, para las tres ciudades se corresponde con hogares en los que los miembros de estas trabajan fuera de casa.

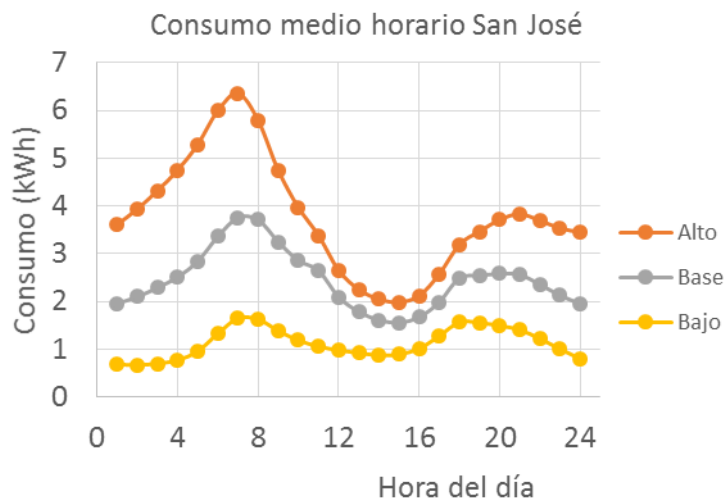


Figura 4. Valores medios horarios de los consumos en San Diego.

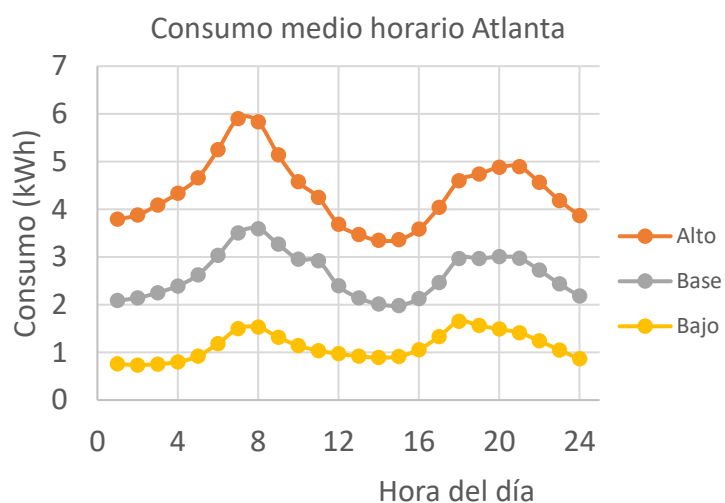


Figura 5. Valores medios horarios de los consumos en San Diego.

Una vez seleccionados los perfiles de consumo, nos interesa estudiar cómo se llega a este perfil y la influencia en el mismo de los diferentes consumos de las viviendas.

Para este fin, hemos agrupado los valores horarios de los consumos disponibles en las bases de datos del NREL en los siguientes consumos: Iluminación, electrodomésticos, agua caliente sanitaria, calefacción y aire acondicionado.

Los valores de las series de datos horarios han sido modificados multiplicando cada valor por un factor constante, calculado de manera que, sin perder la variabilidad horaria de la serie, su contribución al consumo total de la vivienda se adecue al consumo estimado por el IDAE para las viviendas en España en las diferentes zonas climáticas.

Una vez adaptados los consumos, en la tabla 8 se presentan los valores diarios de cada uno de los consumos en kWh y las contribuciones de los diferentes servicios al consumo de las viviendas en % que se han considerado en este estudio.

**Tabla 8. Valor medio diario anual de cada uno de los consumos para diferentes usos y diferentes localidades**

	Luz	Electrod	ACS	Calefacción	Refrigeración	TOTAL (KWh)
<b>Málaga Unifamiliar</b>	1,2	7,9	4,4	7,9	6,2	27,6
%	4,3	28,6	15,9	28,8	22,4	100,0
<b>Málaga Piso</b>	1,0	6,9	4,3	4,0	3,1	19,3
%	5,1	35,9	22,4	20,6	16,0	100,0
<b>Madrid Unifamiliar</b>	1,2	7,9	5,1	12,5	12,3	39,0
%	3,0	20,3	13,0	32,0	31,7	100,0
<b>Madrid Piso</b>	1,0	6,9	6,3	6,2	6,2	26,7
%	3,7	26,0	23,8	23,4	23,1	100,0
<b>Santander Unifamiliar</b>	1,2	7,9	6,1	13,4	12,1	40,6
%	3,0	19,4	15,0	32,9	29,7	100,0
<b>Santander Piso</b>	1,0	6,9	6,2	5,3	5,4	24,8
%	4,0	27,8	24,9	21,5	21,9	100,0

Los perfiles medios horarios utilizados para la simulación de la producción fotovoltaica en cada una de las ciudades españolas se presentan en las figuras siguientes. Puede verse como se repite el perfil de consumo típico de familias cuyos miembros trabajan fuera de casa, por lo que no el consumo baja a las horas centrales del día. El consumo de una vivienda unifamiliar es superior al de un piso.



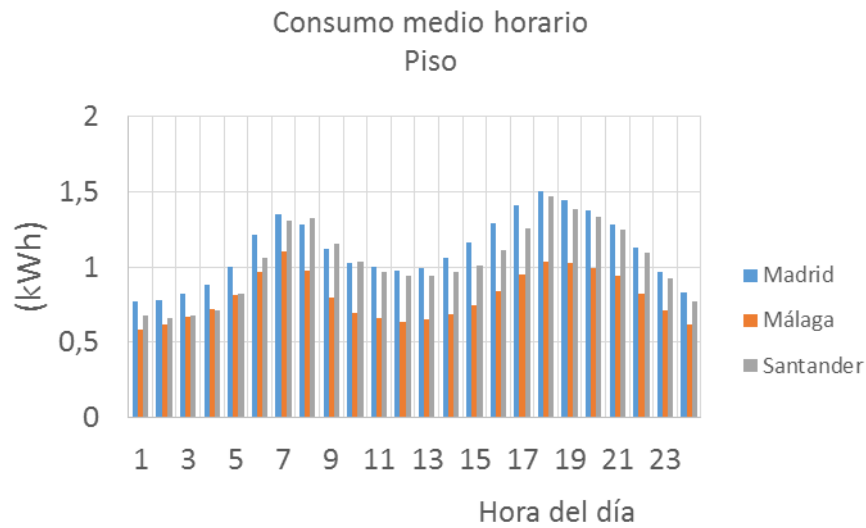


Figura 6: Valores medios horarios de los consumos considerados para los pisos en las ciudades españolas

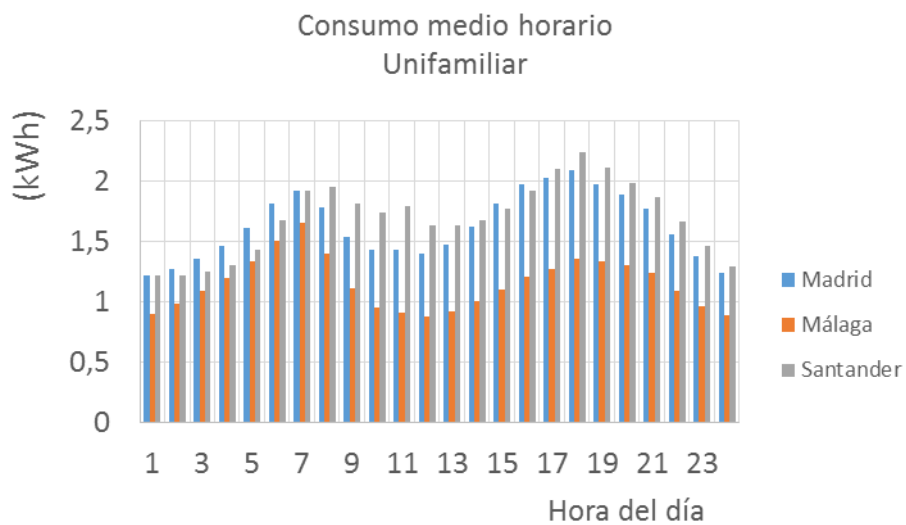


Figura 7: Valores medios horarios de los consumos considerados para las viviendas unifamiliares en las ciudades españolas

Estos valores considerados como perfil horario no se mantienen estables a lo largo del año., debido a los diferentes consumos, sobretodo en calefacción y aire acondicionado que se produce en las distintas ciudades. Así, en las figuras 8 y 9 se presentan los valores medios diarios mensuales de estos consumos.

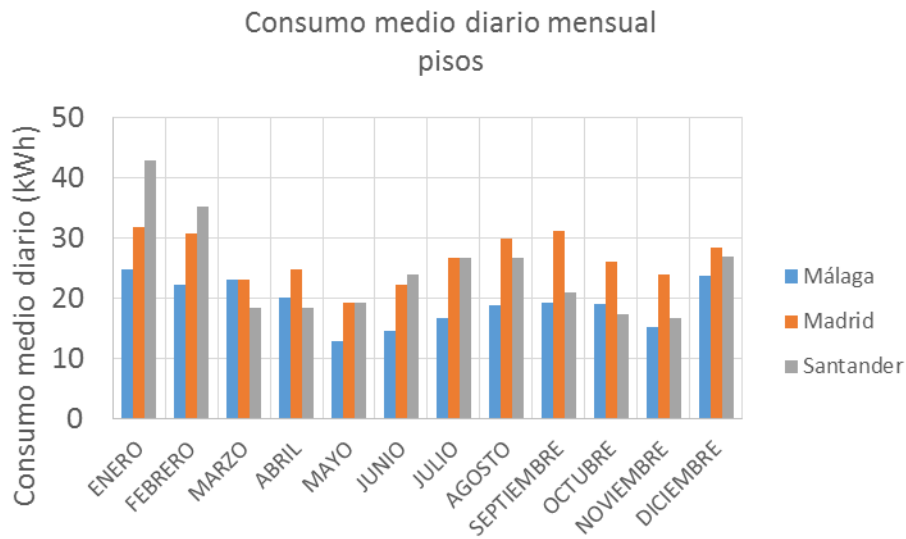


Figura 8. Valores medios diarios mensuales de los consumos de un piso en las distintas ciudades

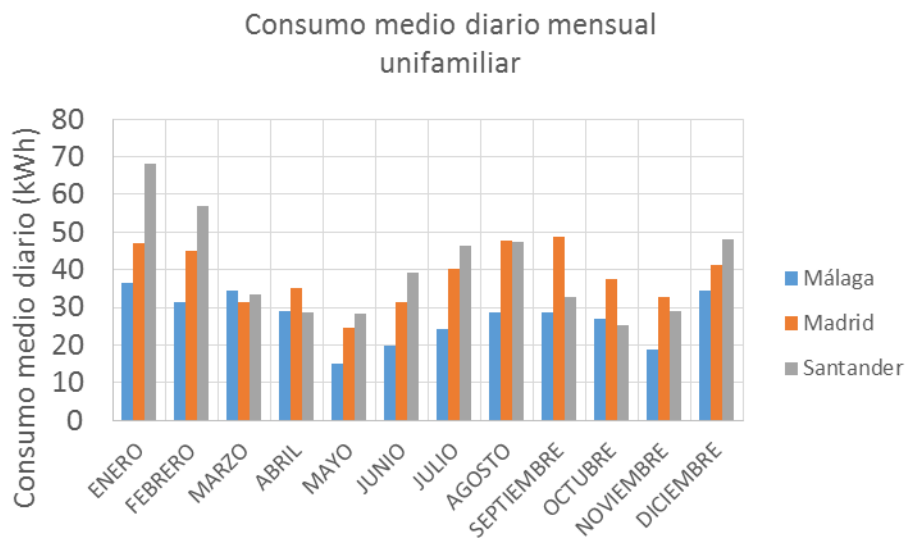


Figura 9. Valores medios diarios mensuales de los consumos de una vivienda unifamiliar en las distintas ciudades

Puede verse, como en Santander hay más consumo de calefacción en invierno que en Madrid, mientras los consumos de aire acondicionado son parecidos en verano. Málaga, debido a su climatología es la que presenta menores consumos a lo largo del año. En esta ciudad, los consumos de aire acondicionado y calefacción son muy parecidos.

Cabe destacar que en general, en todas las ciudades los consumos diarios son máximos en los meses de invierno, pero muy cercanos a los que se producen entre julio y septiembre. Por esta razón hemos decidido realizar el estudio de dimensionado de los sistemas poniendo los paneles a una inclinación de 20 grados respecto de la horizontal, en todas las ciudades estudiadas. Esta inclinación maximiza la energía anual producida por los sistemas fotovoltaicos.

Hay que destacar que en general, son consumos altos. De acuerdo con el estudio publicado por el IDEA, se corresponde con el consumo medio de las viviendas según las zonas climáticas. En nuestro estudio, hemos supuesto que todos los consumos son eléctricos, sin considerar que el paso de consumos de combustibles fósiles a consumos eléctricos debe suponer importantes ahorros energéticos en las viviendas.

## **2.2 Calculo de la energía producida por un sistema fotovoltaico conectado a red en autoconsumo sin baterías**

Para calcular la producción fotovoltaica y de acuerdo con la metodología descrita, vamos a utilizar el método de balance de energía horario. El balance de energía es un método que permite dimensionar el sistema fotovoltaico de acuerdo con el consumo y a los datos meteorológicos de cada ciudad.

La finalidad es ajustar la generación fotovoltaica a las condiciones de la demanda de la carga en un determinado periodo de tiempo, por tanto, el balance energético horario permite evaluar al sistema en función de los datos meteorológicos y la carga, con el objetivo de diseñar una instalación fotovoltaica óptima.

En nuestro estudio dividiremos el balance de energía en dos partes: una primera parte que abarcará desde la energía producida por el generador fotovoltaico hasta que es consumida por la vivienda sin ninguna pérdida, y una segunda parte que abarcará el balance entre la energía consumida y la energía que vertemos y consumimos de la Red Eléctrica de distribución Pública.

La inclinación de los paneles para la simulación es de 20 grados y se encuentran orientados al Sur.

En un primer balance de energía estudiaremos cuanta energía produce un sistema fotovoltaico bajo la hipótesis de que toda su producción es enviada a la red eléctrica.

En primer lugar, calcularemos la potencia generada por el generador fotovoltaico  $P_m$  para cualquier valor de irradiancia solar  $G$  y de temperatura de módulo  $T_m$ , de acuerdo con el método propuesto por Osterwald:

$$P_m = P_{m,ref} \cdot \frac{G}{G_{ref}} \cdot [1 + \gamma \cdot (T_m - T_{m,ref})]$$

Siendo,

$T_m$	Temperatura de módulo
$T_{m,ref}$	Temperatura de los módulos en condiciones estándar, en nuestro caso, 25 °C
$G$	Irradiancia solar incidente en la superficie del módulo (W/m <sup>2</sup> )
$G_{ref}$	Irradiancia solar incidente en condiciones estándar (1000 W/m <sup>2</sup> )
$P_m$	Potencia generada por el generador fotovoltaico (W)
$P_{m,ref}$	Potencia del generador en condiciones estándar (W)
$\gamma$	Coefficiente de pérdidas con la temperatura (-0.48 %/°C)

Hay que destacar que la potencia del generador en condiciones estándar  $P_{m,ref}$ , será un parámetro fundamental ya que en función de esta potencia optimizaremos la instalación, variando esta potencia pico y viendo cómo afecta a los parámetros de autoconsumo y autosuficiencia.

Tomaremos como potencia fotovoltaica óptima aquella que se calcula mediante la expresión

$$P_{m,ref} = \frac{\text{Consumo medio diario anual } \left(\frac{kWh}{\text{diario}}\right)}{\text{Irradiancia media diaria anual } \left(\frac{kW}{m^2}\right) \cdot PR}$$

Esta expresión permite calcular el tamaño óptimo de instalación fotovoltaica tal que la producción anual de energía eléctrica coincida con la demanda anual de la vivienda.

Para calcular la temperatura de funcionamiento,  $T_m$ , de los diferentes módulos en condiciones exteriores hemos utilizado el Modelo de King [ ] ampliamente utilizado en la bibliografía científica. Este modelo propone una relación entre la temperatura de módulo, la irradiancia incidente y la velocidad del viento de acuerdo con la expresión:

$$T_m = T_{amb} + G \cdot e^{(m+n \cdot W)}$$

Siendo,

$T_m$	Temperatura de módulo
$T_{amb}$	Temperatura de ambiente
$G$	Irradiancia solar incidente en la superficie del módulo (W/m <sup>2</sup> )
$W$	Velocidad del viento (m/s)

<b><i>m</i></b>	Coeficiente empírico adimensional que describe el impacto de la irradiancia en la temperatura del módulo, estableciendo el límite superior de la temperatura del módulo a bajas velocidades del viento y altas irradiancias, en nuestro caso -3.56.
<b><i>n</i></b>	Coeficiente empírico que describe el enfriamiento del módulo debido al viento, es decir, la velocidad a la que disminuye la temperatura del módulo a medida que aumenta la velocidad del viento, en nuestro caso -0.079

En segundo lugar, calcularemos las pérdidas producidas en el sistema fotovoltaico en corriente continua.

Estas pérdidas son debidas a diferentes factores, los cuáles describiremos a continuación:

- Pérdidas debido a la reflectancia angular y variación del espectro de la radiación incidente, donde estimamos un valor del 3 % de pérdidas.
- Pérdidas óhmicas por el cableado, donde estimamos un valor del 2% de pérdidas.
- Pérdidas debidas a la dispersión de parámetros en el generador, donde estimamos un valor del 2% de pérdidas.
- Pérdidas debidas a errores en el seguimiento del PMP (punto de máxima potencia) del inversor, donde estimamos un valor del 2% de pérdidas.

En estas pérdidas en corriente continua no hemos tenido en cuenta factores como:

- Polvo y/o suciedad en los módulos
- Pérdidas producidas por sombras y por mala orientación de los paneles

Por otra parte, las pérdidas debido a la temperatura de los módulos están ya consideradas en la expresión de Osterwald.

Finalmente, para determinar la energía en corriente alterna deberemos tener en cuenta el rendimiento del inversor fotovoltaico, este rendimiento lo calcularemos de acuerdo con la ecuación propuesta por Schmidt [] a partir de la potencia de entrada al inversor ( $P_{in}$ )

$$\eta_{inv} = \frac{P_{in} - (b_0 + b_1 \cdot P_{in} + b_2 \cdot P_{inv}^2)}{P_{in}}$$

Siendo,

<b><math>\eta_{inv}</math></b>	Rendimiento del inversor
<b><math>P_{in}</math></b>	Potencia de entrada al inversor (Pcc/Ppico)
<b><math>b_0</math></b>	Parámetro adimensional con un valor de 0.04
<b><math>b_1</math></b>	Parámetro adimensional con un valor de 0.002
<b><math>b_2</math></b>	Parámetro adimensional con un valor de 0.03

Finalmente, a partir de este rendimiento podemos calcular la potencia de salida, es decir, la potencia en corriente alterna.

$$\eta_{inv} = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}}$$

Las pérdidas en corriente alterna van a depender exclusivamente del cableado, es decir, de la distancia entre el inversor y el punto de conexión con la red eléctrica. En este estudio suponemos unas pérdidas del 1 %

Con esta metodología calculamos la energía producida en un sistema conectado red. Si esta instalación se utiliza como una instalación de autoconsumo, tenemos que hacer un balance energético horario para determinar de acuerdo con el consumo horario de la vivienda, cuanta energía es consumida por la vivienda a partir de la instalación fotovoltaica y cuanta energía consumimos o vertemos en la Red Eléctrica de Distribución Pública.

Los casos que se pueden dar son:

- Si el consumo de la vivienda es igual a la producción fotovoltaica, todo el consumo de la vivienda será a partir de la instalación fotovoltaica.
- Si el consumo de la vivienda es mayor que la producción fotovoltaica, se consumirá toda la producción fotovoltaica y lo que falte será aportado por la Red Eléctrica de Distribución Pública.
- Si el consumo de la vivienda es menor que la producción fotovoltaica, todo el consumo de la vivienda será a partir de la instalación fotovoltaica y lo restante se verterá a Red Eléctrica de Distribución Pública.

Los parámetros que se calculan son los siguientes

- Energía fotovoltaica consumida directamente del sistema fotovoltaico
- Energía fotovoltaica producida y vertida a la red
- Energía consumida de la Red

Se realizarán balances horarios, diarios y valores medios mensuales de estos parámetros.

Como parámetros de eficiencia se calculan los siguientes:

**Performance Ratio PR:** es una magnitud, independiente del lugar de ubicación y por lo tanto de la radiación solar incidente, y del tamaño del sistema, por ello, constituye también un factor de calidad.

Este parámetro se indica en porcentaje y expresa la relación entre el rendimiento real y el rendimiento nominal de la instalación fotovoltaica en condiciones estándar. De esta forma indica qué proporción de la energía está realmente disponible para la alimentación tras haber descontado las pérdidas energéticas. Cuanto más cercano al 100 % sea el valor del PR calculado para una instalación fotovoltaica, de forma más efectiva trabajará esta instalación fotovoltaica.

El PR aporta información sobre la eficiencia energética y la fiabilidad de su instalación fotovoltaica. Por medio del PR se puede comparar el rendimiento la instalación fotovoltaica con el rendimiento de otras instalaciones

fotovoltaicas, así como controlar el estado de su instalación fotovoltaica durante un período de tiempo prolongado, ya que calculando este parámetro en intervalos prefijados podemos realizar un control del rendimiento de la instalación y poder detectar algún fallo del sistema.

En términos matemáticos, lo podemos definir de la siguiente manera:

$$PR = \frac{E_{AC}}{E_{ideal}} \cdot 100 = (1 - L_1) * (1 - L_1) * \dots * (1 - L_n) * \eta_{INV}$$

donde,

$$E_{ideal} = E_{solar} \cdot \eta_{STC}$$

Siendo,

$E_{AC}$	Energía diaria generada en alterna
$E_{ideal}$	Energía ideal sin contar ninguna pérdida en el sistema
$E_{solar}$	Energía solar recibida
$\eta_{STC}$	Rendimiento del sistema en CEM
$\eta_{INV}$	Rendimiento del inversor
$L_n$	Factores de pérdidas en el sistema

Eficiencia del sistema o Yield: Se define para un periodo de tiempo, como la energía generada por el sistema dividida por su potencia pico. Se expresa en kWh/kWp.

Estos dos parámetros se relacionan de acuerdo con la expresión

$$PR(\%) = \frac{Yield}{Y_{ref}} = \frac{Yield}{\frac{G}{1000}} \cdot 100$$

Siendo,

$Y_{ref}$	Yield de referencia, cociente entre irradiación solar y la irradiancia en CEM
$G$	Irradiación solar ( $W/m^2$ )

Para evaluar las instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo se definen dos parámetros; **Autoconsumo y autosuficiencia**.

Se define el **autoconsumo** como el porcentaje de energía que se consume directamente de la instalación fotovoltaica en un periodo de tiempo.

$$\text{Autoconsumo (\%)} = \frac{E_{CONS,FV}}{E_{PROD,FV}} \cdot 100$$

Siendo,

$E_{PROD,FV}$	Energía total producida fotovoltaica
$E_{CONS,FV}$	Energía consumida directamente de la instalación fotovoltaica

Por otra parte, se define la **autosuficiencia** el porcentaje de energía consumida a partir de la instalación fotovoltaica en relación con el consumo total de la vivienda.

$$\text{Autosuficiencia (\%)} = \frac{E_{CONS,FV}}{E_{CONS,TOTAL}} \cdot 100$$

Siendo,

$E_{CONS,TOTAL}$	Energía consumida total de la vivienda
$E_{CONS,FV}$	Energía consumida directamente de la instalación fotovoltaica

Se calcularán los valores diarios de estos parámetros, los valores medios mensuales y el valor media anual.

A continuación, se realiza un análisis de sensibilidad de estos coeficientes con la potencia pico instalada. También se determina el porcentaje de consumo que se produce durante las horas de sol o su complementario que es el que se produce en horas nocturnas. Este consumo nos fija el valor máximo teórico que puede alcanzar la curva de autosuficiencia en función de la potencia pico instalada, toda vez que el consumo en las horas nocturnas nunca se podrá cubrir con fotovoltaico en sistemas sin acumulación.

El punto donde se cortan las curvas de autoconsumo y autosuficiencia en función de la potencia pico instalada, representa, de acuerdo con las expresiones anteriores el valor de potencia pico que hace que la producción fotovoltaica total se iguale al consumo total de la vivienda, por lo que estaríamos en cero emisiones. En este valor los coeficientes de autoconsumo y autosuficiencia coinciden.

### 2.3. Dimensionado de un sistema fotovoltaico para autoconsumo con baterías.

La metodología descrita anteriormente tenemos que modificarla, en el caso de que nuestro sistema tenga capacidad de acumulación.



Naturalmente, la energía producida por el sistema fotovoltaico es la misma, por lo que los parámetros de eficiencia del sistema, **Performance Ratio** y **Yield** no se ven alterados. Sin embargo, si la producción fotovoltaica es mayor que el consumo, podemos acumular los excedentes en la batería antes de verter energía a la red. De igual forma, si no hay producción fotovoltaica suficiente para abastecer el consumo, antes de coger energía de la red, suministramos este consumo descargando la batería.

Por tanto, ahora se presentan los siguientes casos, que debemos tener en cuenta en el balance energético:

Sí existe producción de energía eléctrica mediante el sistema fotovoltaico se pueden dar dos casos:

- Si la producción de energía eléctrica mediante el sistema fotovoltaico es mayor que el consumo de la vivienda se pueden dar dos casos:
  - Si la batería no se encuentra cargada al máximo de su capacidad se pueden dar dos casos:
    - Si la carga de la batería más la producción de energía eléctrica mediante el sistema fotovoltaico menos el consumo de la vivienda es mayor que la capacidad máxima de la batería, entonces, la batería se cargará al máximo de su capacidad y verteremos a la red lo sobrante, es decir, la máxima capacidad de la batería menos la carga que tenía la batería menos la producción de energía eléctrica mediante el sistema fotovoltaico más el consumo de la vivienda
    - Si la carga de la batería más la producción de energía eléctrica mediante el sistema fotovoltaico menos el consumo de la vivienda es menor que la capacidad máxima de la batería, entonces, la batería se cargará hasta el valor marcado por la carga que tenía la batería más la producción de energía eléctrica menos el consumo de la vivienda.
  - Si la batería se encuentra cargada al máximo de su capacidad entonces, verteremos a la red la cantidad de energía resultante de la resta de la producción de energía eléctrica mediante el sistema fotovoltaico y el consumo de la vivienda.
- Si la producción de energía eléctrica mediante el sistema fotovoltaico es menor que el consumo de la vivienda se pueden dar tres casos:
  - Si la carga de la batería se encuentra al mínimo de su capacidad, entonces tendremos que coger toda la energía de Red Eléctrica de Distribución Pública, es decir, el consumo de la vivienda menos producción de energía eléctrica mediante el sistema fotovoltaico

- Si la carga de la batería menos el mínimo de la batería más la producción de energía eléctrica mediante el sistema fotovoltaico es mayor o igual que el consumo de la vivienda, entonces consumiremos la energía necesaria de las baterías, esta cantidad de energía consumida es igual a el consumo de la vivienda menos la producción de energía eléctrica mediante el sistema fotovoltaico.
- Si la carga de la batería menos el mínimo de la batería más la producción de energía eléctrica mediante el sistema fotovoltaico es menor que el consumo de la vivienda, entonces consumiremos energía de las baterías hasta llegar al mínimo y lo demás, es decir, consumo de la vivienda menos la producción de energía eléctrica mediante el sistema fotovoltaico menos lo consumido por las baterías, se tendrá que coger de la Red Eléctrica de Distribución Pública.

En segundo lugar, si no existe producción de energía eléctrica mediante el sistema fotovoltaico se pueden dar dos casos:

- Si la batería se encuentra al mínimo de su capacidad, entonces toda la energía consumida por la vivienda se cogerá de la Red Eléctrica de Distribución Pública.
- Si la batería no se encuentra al mínimo de su capacidad, entonces se podrán dar dos casos:
  - Si la carga de la batería menos el consumo de la vivienda es menor que el mínimo de la capacidad de la batería, entonces consumiremos de la batería hasta llegar a su mínimo de capacidad y el resto lo cogeremos de la Red Eléctrica de Distribución Pública.
  - Si la carga de la batería menos el consumo de la vivienda es mayor que el mínimo de la capacidad de la batería, entonces consumiremos toda la energía de la batería.

Además, para un menor deterioro de las baterías supondremos que la mínima capacidad que deberán tener será del 20% de la capacidad máxima de cada batería. Por otra parte, para realizar las simulaciones supondremos que las baterías se encuentran al 50% de capacidad en su estado inicial.

Con esta configuración calculamos los parámetros de autosuficiencia y autoconsumo, así como su variabilidad tanto con la potencia pico instalada, (kWp) del generador como con la capacidad de acumulación de la batería (kWh).

## 4.2. Resultados de instalaciones de autoconsumo sin baterías

En la tabla siguiente se resumen los resultados obtenidos para el dimensionado óptimo de un sistema fotovoltaico sin baterías para autoconsumo en las ciudades estudiadas.

**Tabla 9: Resultados del dimensionado de sistemas FV de autoconsumo en distintas localidades españolas.**

	<i>Vivienda tipo- piso</i>			<i>Vivienda unifamiliar</i>		
	<i>Málaga</i>	<i>Madrid</i>	<i>Santander</i>	<i>Málaga</i>	<i>Madrid</i>	<i>Santander</i>
Consumo (kWh)	19.3	26.7	24.8	23.6	39.0	40.6
Radiación (kWh/m <sup>2</sup> )	6.0	5.1	4.6	6.0	5.1	4.6
Wp (kWp)	4.0	6.5	6.7	5.7	9.6	11.0
Yield (kWh/kWp)	4.8	4.1	3.7	4.8	4.1	3.7
PR (%)	80.6	79.9	80.6	80.6	79.9	80.6
Autosuficiencia (%)	36.9	38.3	36.0	37.0	37.8	36.6
Autoconsumo (%)	36.9	38.3	36.0	37.0	37.8	36.6
Consumo diurno (%)	49.1	51.8	52.0	48.1	51.3	55

La potencia pico de módulos está calculada para que los coeficientes de autoconsumo y autosuficiencia coincidan (cero emisiones).

Cabe destacar que independientemente del nivel de consumo de la vivienda es posible alcanzar valores de auto eficiencia cercanos al 40%, si bien, en este caso más del 60% de la producción fotovoltaica hay que inyectarla a la red.

Como era de esperar la potencia pico necesaria de paneles es menor en las ciudades con mejores niveles de irradiancia solar. Así mientras que en Málaga un sistema fotovoltaico produce en valor medio diario anual 4.8 kWh por cada kWp instalado, en Madrid, este valor baja a 4.1 y en Santander es de sólo de 3.7 kWh/kWp. Estos valores de rendimiento son independientes de la forma del consumo de la vivienda, lo mismo que el Performance Ratio, que sólo tiene que ver con las pérdidas totales del sistema. En este punto, también cabe destacar la poca incidencia de las variables climáticas en este parámetro, ya que se han obtenido valores comparables del PR en las tres ciudades estudiadas. Lo que indica que valores de Performance Ratio próximos al 80 % son posibles en cualquier punto de la geografía peninsular.

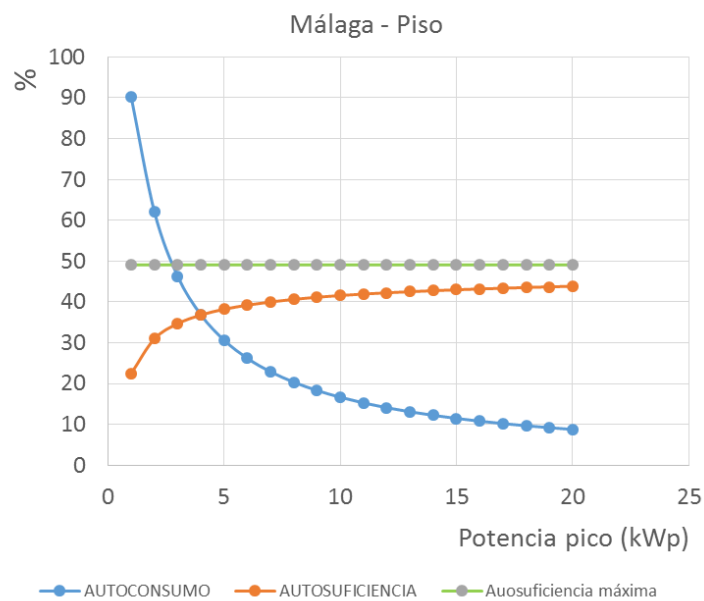
Solamente desplazando consumos nocturnos hacia las horas de Sol, mediante sistemas de gestión de la demanda o con la inclusión de baterías en el sistema podremos aumentar estos valores.

Cabe destacar que los consumos utilizados en todas las ciudades son consumos altos, con grandes potencialidades de mejora con medidas de ahorro energético. La metodología desarrollada permite calcular la potencia pico necesaria sabiendo el consumo medio diario anual de la vivienda. Este valor no depende de la forma de la curva de consumo. Solamente los valores de autoconsumo y autosuficiencia dependen de la

forma de la curva de consumo. Sin embargo, conocer el consumo medio diario anual que se produce durante las horas de Sol nos proporciona un primer parámetro para conocer los ahorros esperados, toda vez que los consumos nocturnos nunca podrán ser suministrados con estos sistemas.

Una vez conocida la potencia pico que hace que una instalación fotovoltaica suministre una energía igual al consumo de las viviendas, hemos estudiado la variación de los coeficientes de autosuficiencia y autoconsumo con la potencia pico instalada.

En las figuras 10 a 12 se presentan estas gráficas, para cada una de las localidades estudiadas.



**Figura 10. Variación de los porcentajes de autoconsumo y autosuficiencia en función de la potencia pico para un piso en Málaga.**

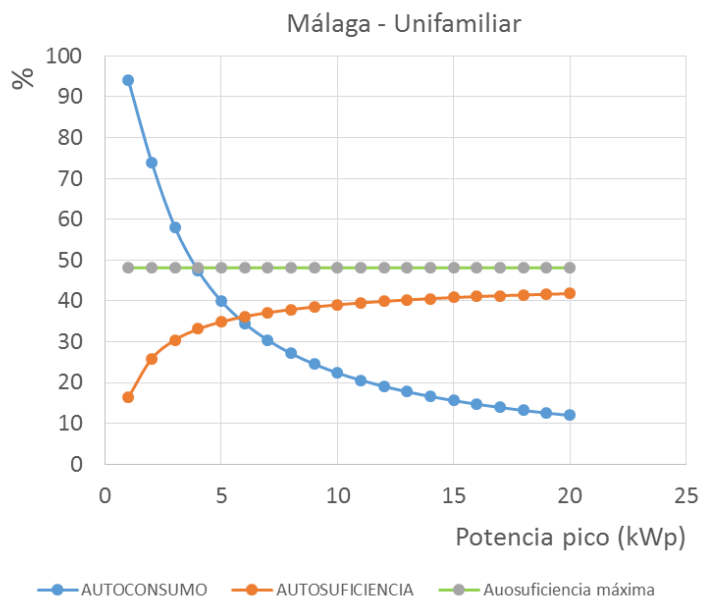


Figura 11. Variación de los porcentajes de autoconsumo y autosuficiencia en función de la potencia pico para una vivienda unifamiliar en Málaga.

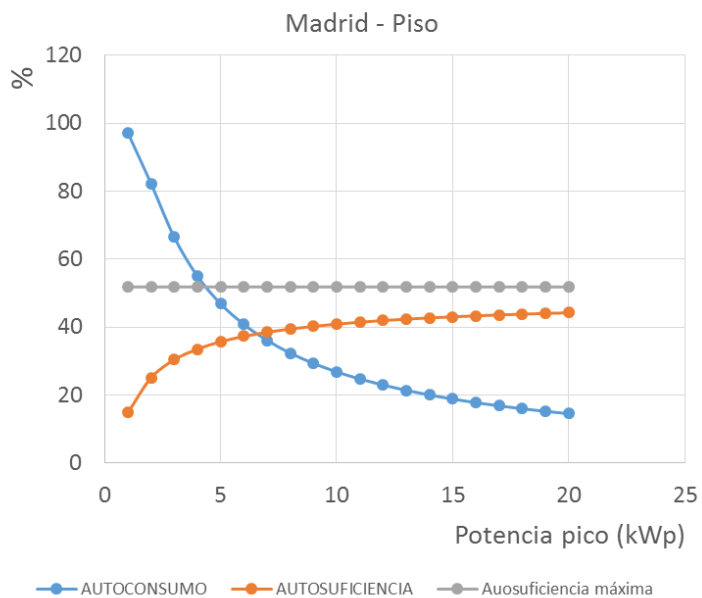
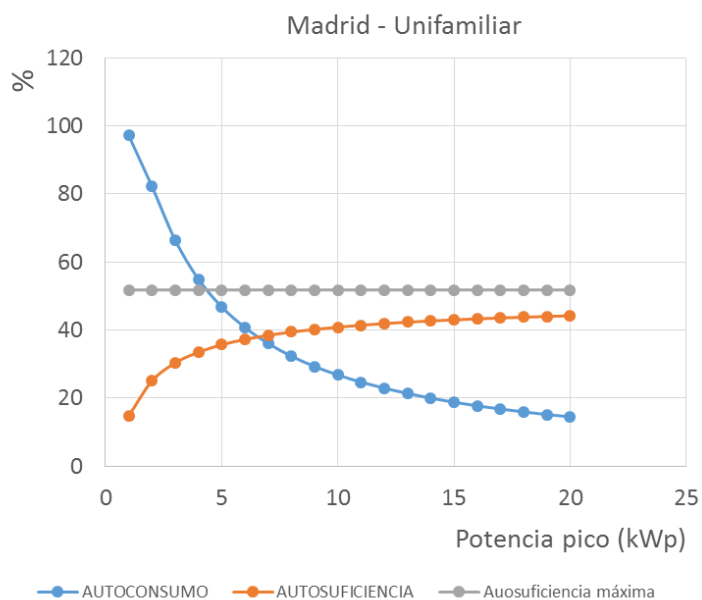
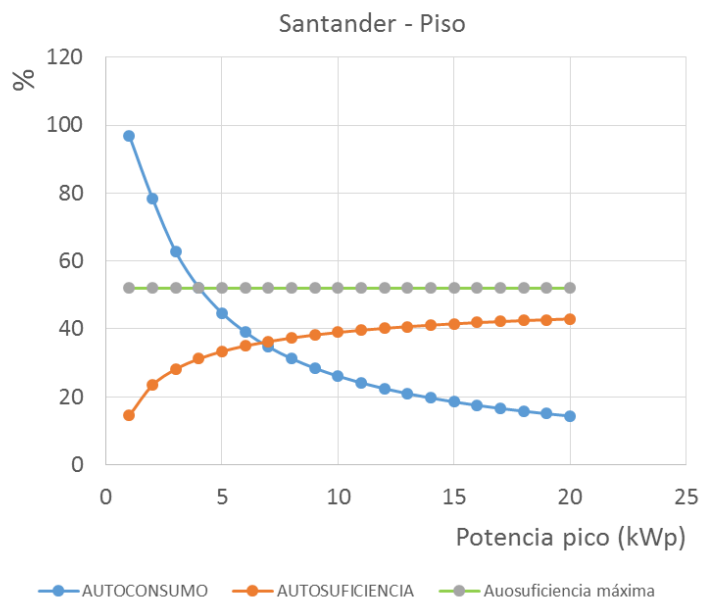


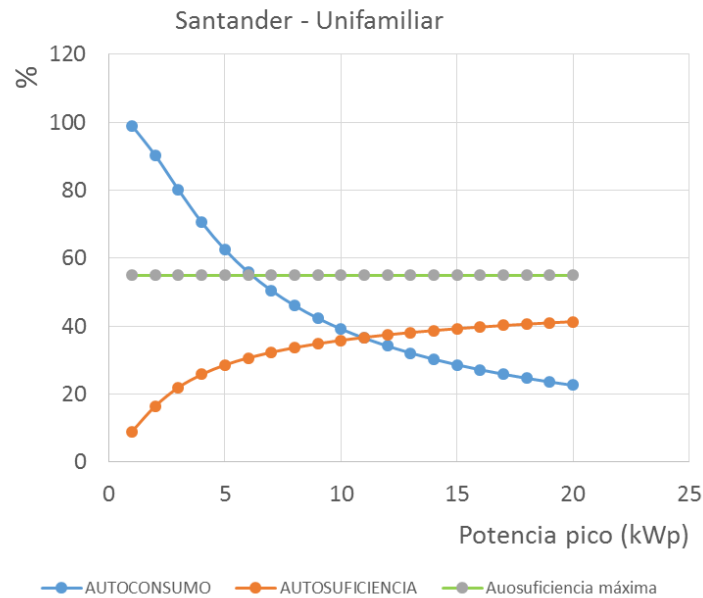
Figura 12. Variación de los porcentajes de autoconsumo y autosuficiencia en función de la potencia pico para un piso en Madrid.



**Figura 13. Variación de los porcentajes de autoconsumo y autosuficiencia en función de la potencia pico para una vivienda unifamiliar en Madrid.**



**Figura 14. Variación de los porcentajes de autoconsumo y autosuficiencia en función de la potencia pico para un piso en Santander.**



**Figura 15. Variación de los porcentajes de autoconsumo y autosuficiencia en función de la potencia pico para una vivienda unifamiliar en Santander.**

Como puede observarse La curva de autoconsumo decrece cuando aumenta la potencia pico instalada. Si la potencia pico es pequeña comparada con el consumo de la vivienda, toda la energía producida por el sistema fotovoltaico se consume en la vivienda, pero si aumentamos la potencia pico instalada, el valor de autoconsumo decrece, lo que indica que empezamos a enviar el sobrante de la producción fotovoltaica a la red. Naturalmente se incrementa fuertemente al principio para suavizarse a potencias picos superiores.

La curva de autosuficiencia, que nos indica el ahorro energético real de la vivienda tiene un comportamiento opuesto. Si la potencia pico es pequeña respecto al consumo de la vivienda el ahorro es pequeño, pero si aumentamos la potencia pico aumentamos el valor de la autosuficiencia. Esta curva tiene una primera parte casi lineal pero enseguida se satura, lo que indica que empezamos a tener energía sobrante durante las horas de Sol. Dicho de otra manera, no podemos aprovechar todo lo que producimos.

Es interesante plantear cuál es el límite máximo teórico de esta curva que tiende siempre a un valor de forma asintótica.

El consumo que se produce durante las horas de Sol determina el valor máximo teórico posible de la autosuficiencia, toda vez que el consumo nocturno, complementario de este nunca podrá ser suministrado.

Todas las curvas presentadas tienen un comportamiento similar si bien los valores para cada ciudad son distintos. Debido a la forma de la curva de autosuficiencia en función de la potencia pico, vemos que este máximo nunca se alcanza, para ello sería necesario que la curva de consumo diario en las horas de sol coincidiera exactamente con la producción fotovoltaica.

Un estudio más detallado de estas curvas nos indica que, para los consumos domésticos, el máximo real alcanzable para la curva de autosuficiencia, con estos perfiles de consumo es aproximadamente el 70% del valor máximo.

Si comparamos lo que ocurre en la misma ciudad para los dos consumos estudiados vemos que tiene un comportamiento similar. A partir del punto de corte de las dos curvas, en todos los casos, el aumento de la potencia pico instalada supone un aumento pequeño de la autosuficiencia energética. Esto indica que este punto puede considerarse como la máxima potencia fotovoltaica a instalar en sistemas de autoconsumo.

En la figura 16 se comparan para el caso de pisos las curvas de autosuficiencia para las tres localidades estudiadas.

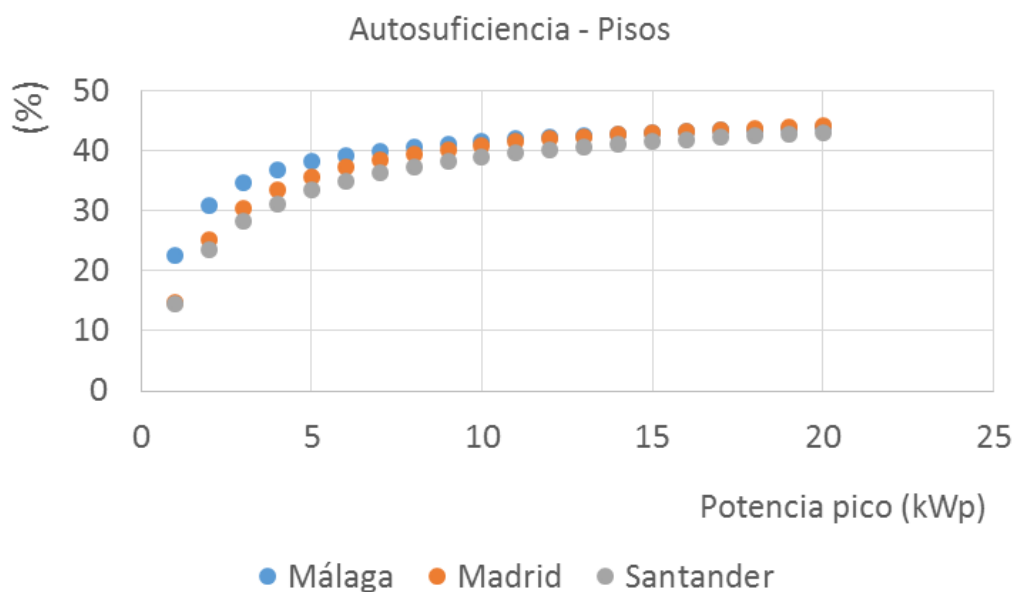


Figura 16. Variación del autoconsumo en función de la potencia pico para distintas ciudades

Se puede observar que la curva es más pronunciada cuando la ciudad presenta mejores valores de irradiancia incidente. Es decir, las instalaciones en Málaga además de cubrir con menor potencia pico un consumo determinado, también consiguen para cada potencia pico mejores valores de autosuficiencia. Esto es debido en gran medida a que el consumo de esta ciudad es menor. También puede observarse que las ciudades de Madrid y Santander tienen comportamientos muy similares.

#### 4.3. Resultados de instalaciones de autoconsumo con baterías

En la tabla siguiente se presenta la variación de los porcentajes de autoconsumo y autosuficiencia en función de la capacidad de la batería para un sistema fotovoltaico cuya potencia pico sea la que hemos definido como



potencia óptima, es decir, cuando la producción fotovoltaica anual coincide con el consumo anual de la vivienda (autoconsumo igual a autosuficiencia).

**Tabla 10. Valores de autosuficiencia para cada instalación fotovoltaica en función de la capacidad de la batería.**

<b>Potencia FV pico (kWp)</b>	<b>Pisos</b>			<b>Unifamiliar</b>		
	4,0	6,5	6,7	5,7	9,6	11
<b>Capacidad Batería (Wh)</b>	<b>Málaga</b>	<b>Madrid</b>	<b>Santander</b>	<b>Málaga</b>	<b>Madrid</b>	<b>Santander</b>
0	36,9	37,8	36,0	37,0	37,5	36,6
2500	51,1	47,2	45,4	45,6	43,2	41,6
5000	61,4	55,7	54,9	54,4	51,4	48,8
7500	69,9	62,3	61,2	61,3	56,1	54,3
10000	75,8	67,8	66,2	66,8	60,6	58,1
12500	79,1	71,9	69,1	71,4	64,5	61,4
15000	80,5	75,2	71,2	75,0	68,0	63,7
17500	81,2	77,4	72,2	77,1	70,8	66,0
20000	81,5	78,6	73,1	78,5	73,5	68,2

Como puede observarse, tamaños de batería entre 5 y 10 kWh aumentan considerablemente los porcentajes de autosuficiencia en todas las localidades. Estos resultados ponen de manifiesto que tamaños de batería comparables con el consumo de la casa no son eficientes, ya que, aunque podamos cubrir el consumo medio nocturno, nunca llegamos a ser autosuficientes plenamente.

Los resultados muestran también que un tamaño excesivo del sistema de acumulación no aumenta significativamente el ahorro energético y encarece el sistema indebidamente.

Cabe preguntarse si con sistema de acumulación podríamos tener las mismas prestaciones con otra potencia pico instalada.

Para este fin, hemos estudiado la variación de los valores de autosuficiencia y autoconsumo en función tanto de la potencia pico instalada como de la capacidad de la batería. En las figuras 16 y 17 se presentan estos resultados para Málaga vivienda tipo piso.

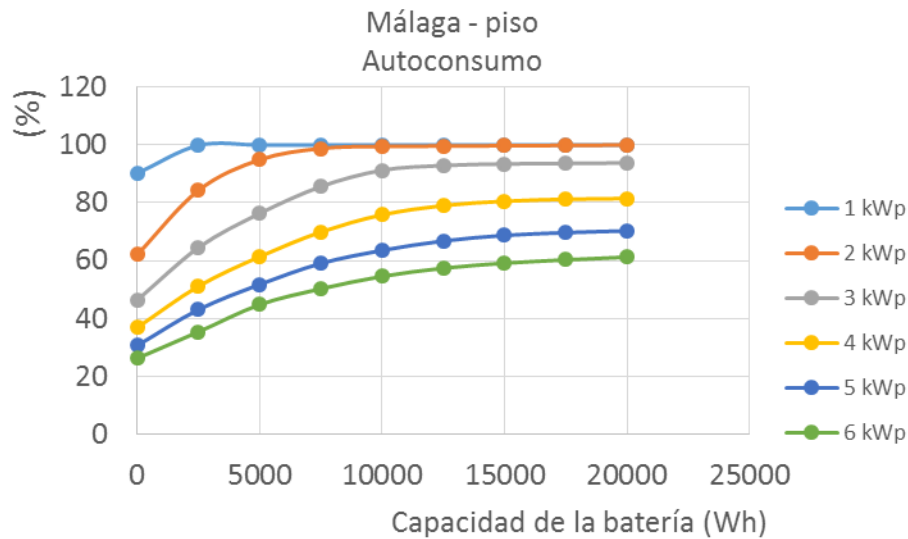


Figura 17. Variación del autoconsumo en función del tamaño de la batería para cada valor de potencia pico para pisos en Málaga.

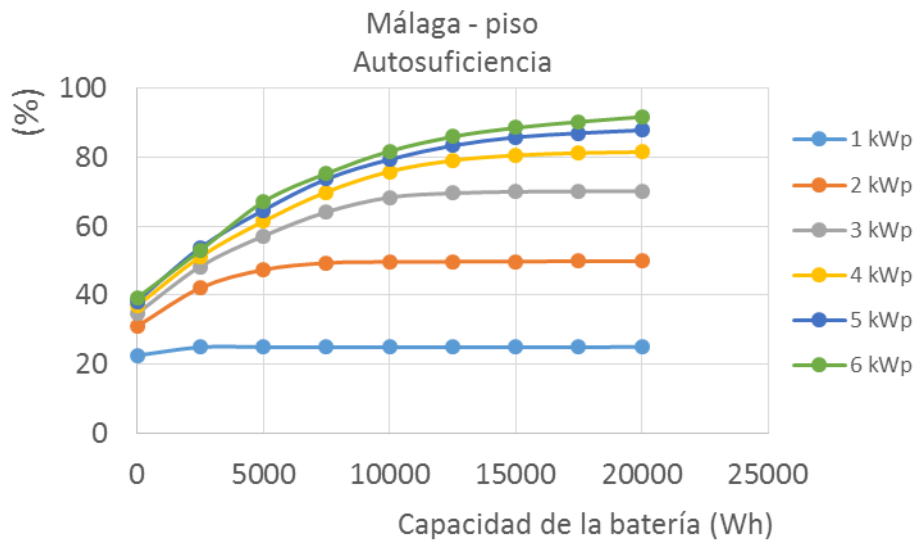


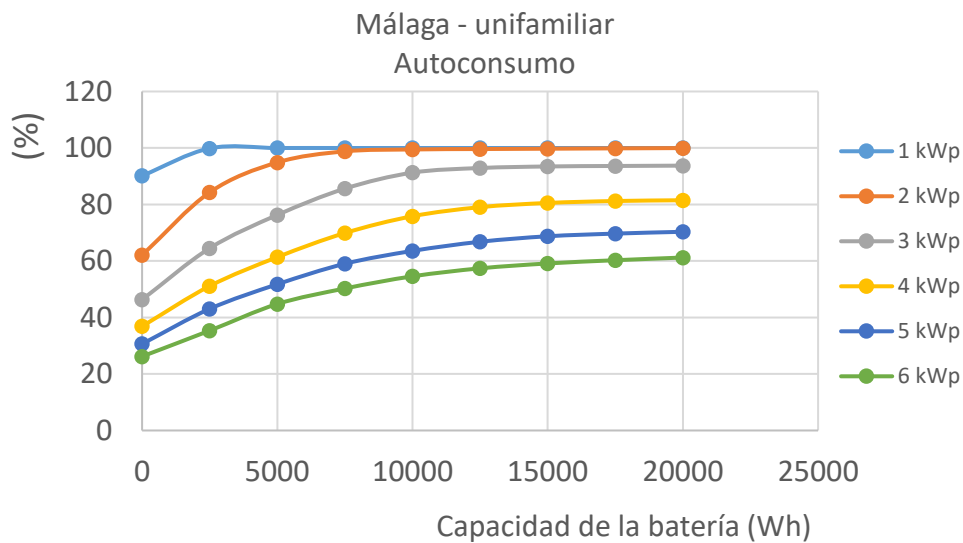
Figura 18. Variación de la autosuficiencia en función del tamaño de la batería para cada valor de potencia pico para pisos en Málaga.

Puede deducirse de estas curvas que para alcanzar un valor de autosuficiencia podemos tener varias combinaciones de potencia pico y capacidad de batería. Debido a que los módulos son más baratos que las baterías, instalaciones con mayor potencia pico y menor capacidad de batería deben ser más rentables económicamente. Igualmente puede verse que, para estos consumos, sistemas FV en Málaga con potencia

pico de 5 kWp y acumulación de 10 kWh se alcanzan valores de autosuficiencia del 80 %, pero con un sistema de 3 kWp y 5kWh de acumulación obtenemos valores próximos al 60 %.

También se observa que una instalación de 2.0 kWp y una acumulación de 7.5 kWh se consiguen autosuficiencias del 50% pero con autoconsumos del 100%.

En las figuras 19 y 20 se presentan los resultados para viviendas unifamiliares en Málaga.



**Figura 19. Variación del autoconsumo en función del tamaño de la batería para cada valor de potencia pico para viviendas unifamiliares en Málaga.**

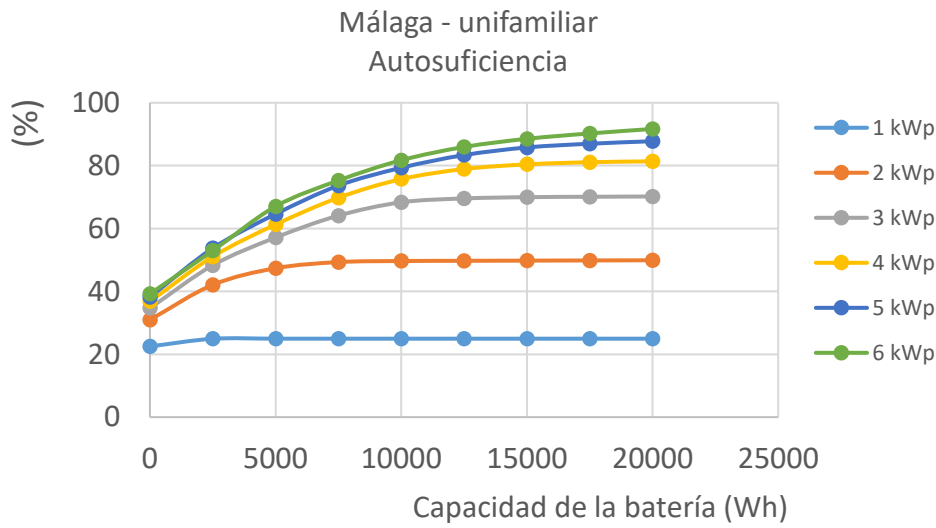


Figura 20. Variación de la autosuficiencia en función del tamaño de la batería para cada valor de potencia pico para viviendas unifamiliares en Málaga.

En las figuras 21 a 28 se presentan los resultados para las ciudades de Madrid y Santander

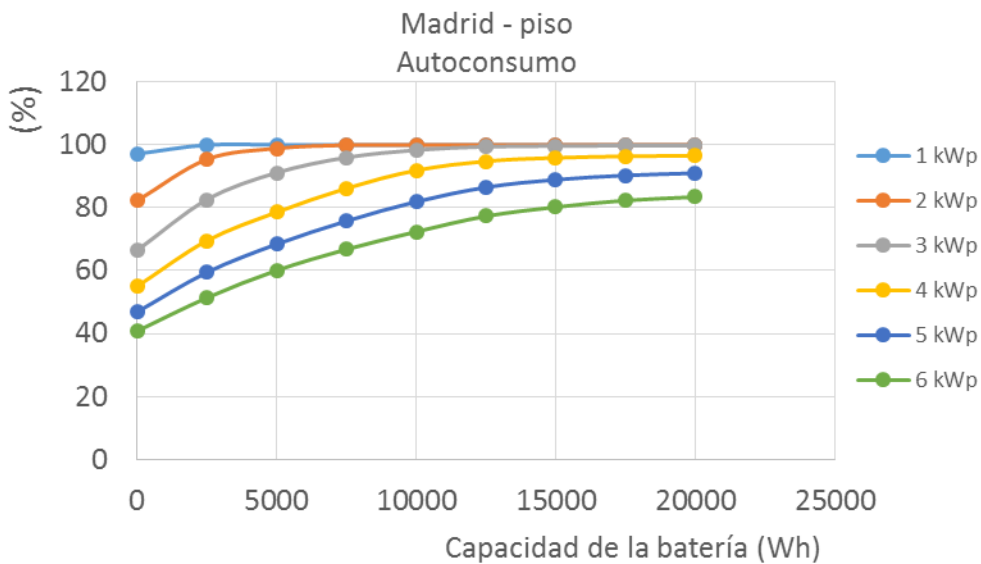


Figura 21. Variación del autoconsumo en función del tamaño de la batería para cada valor de potencia pico para pisos en Madrid.

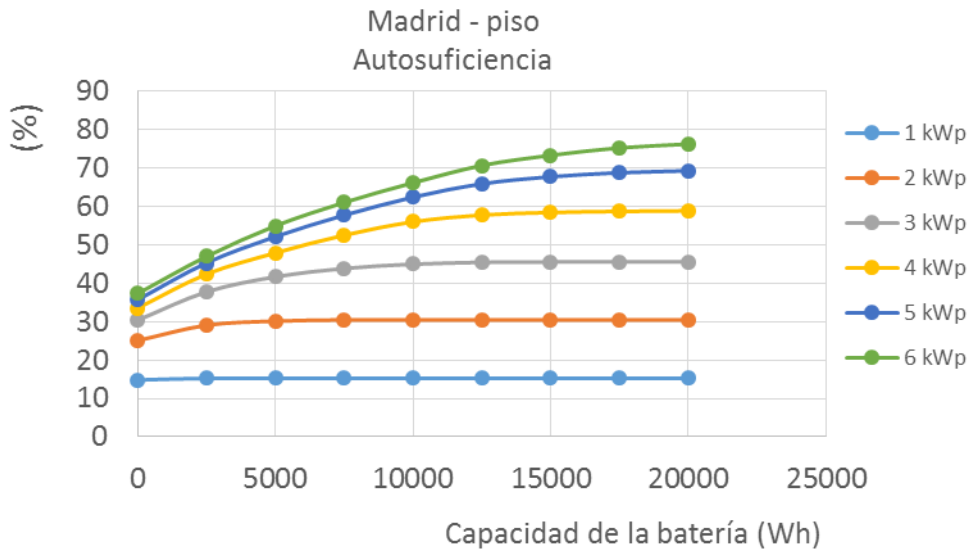


Figura 22. Variación de la autosuficiencia en función del tamaño de la batería para cada valor de potencia pico para pisos en Madrid.

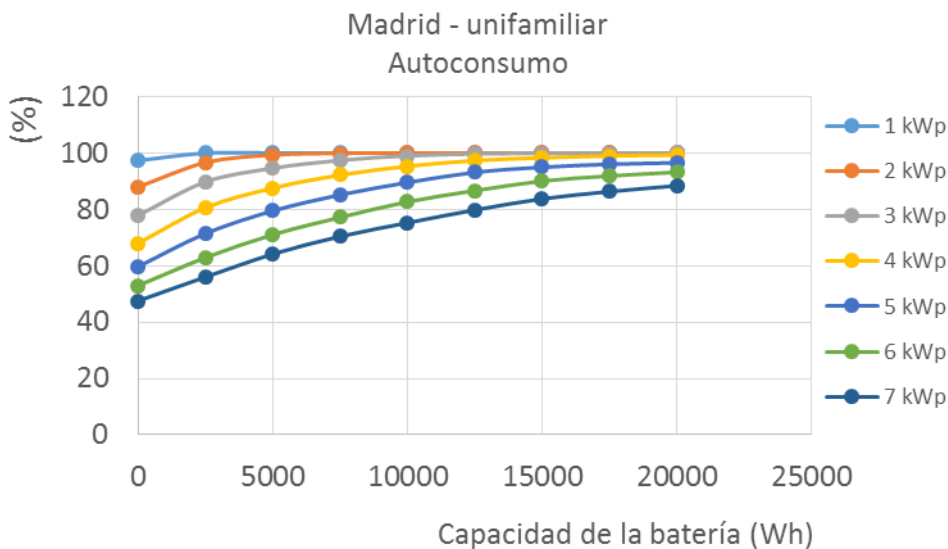


Figura 23. Variación del autoconsumo en función del tamaño de la batería para cada valor de potencia pico para vivienda unifamiliar en Madrid.

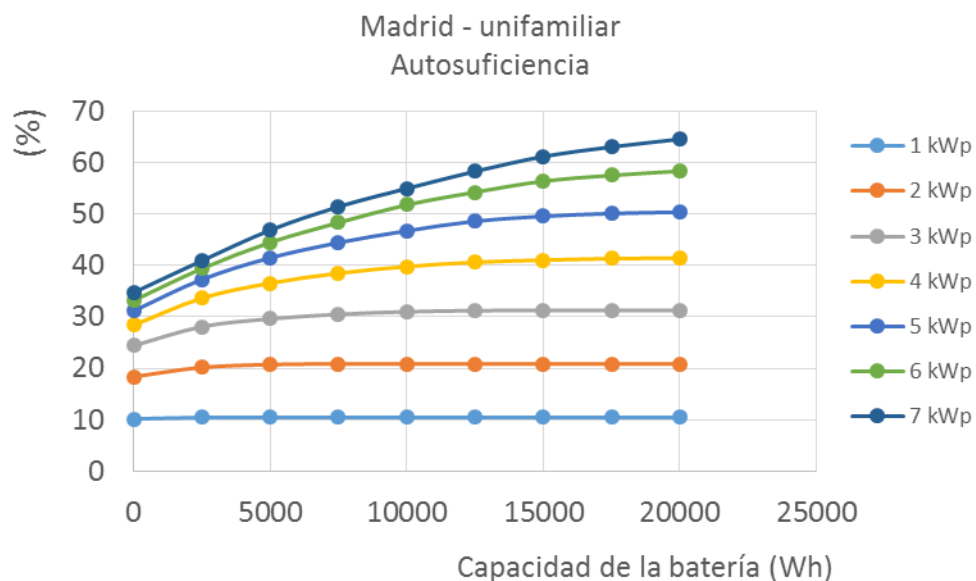


Figura 24. Variación de la autosuficiencia en función del tamaño de la batería para cada valor de potencia pico para vivienda unifamiliar en Madrid.

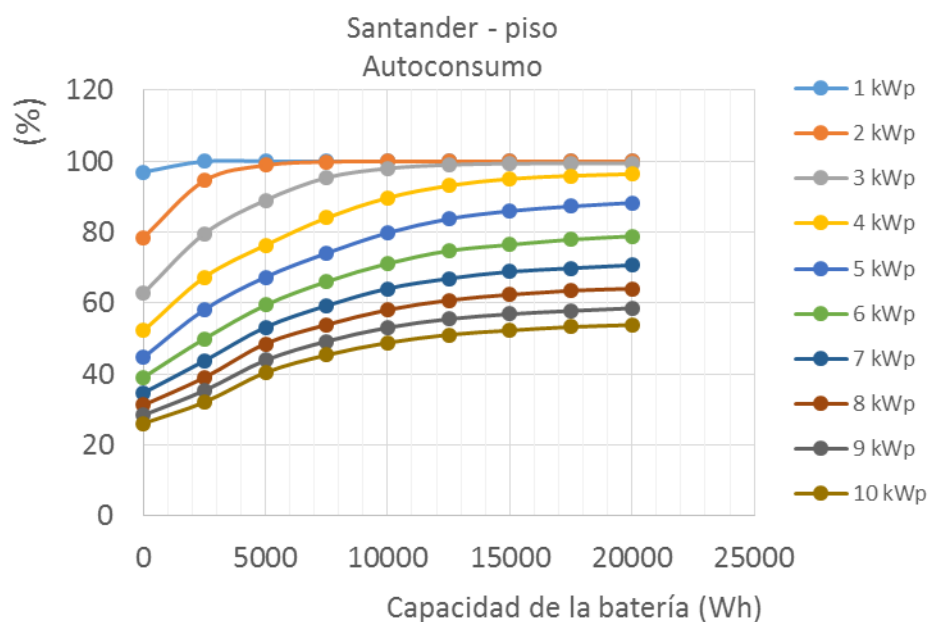


Figura 25. Variación del autoconsumo en función del tamaño de la batería para cada valor de potencia pico para pisos en Santander.

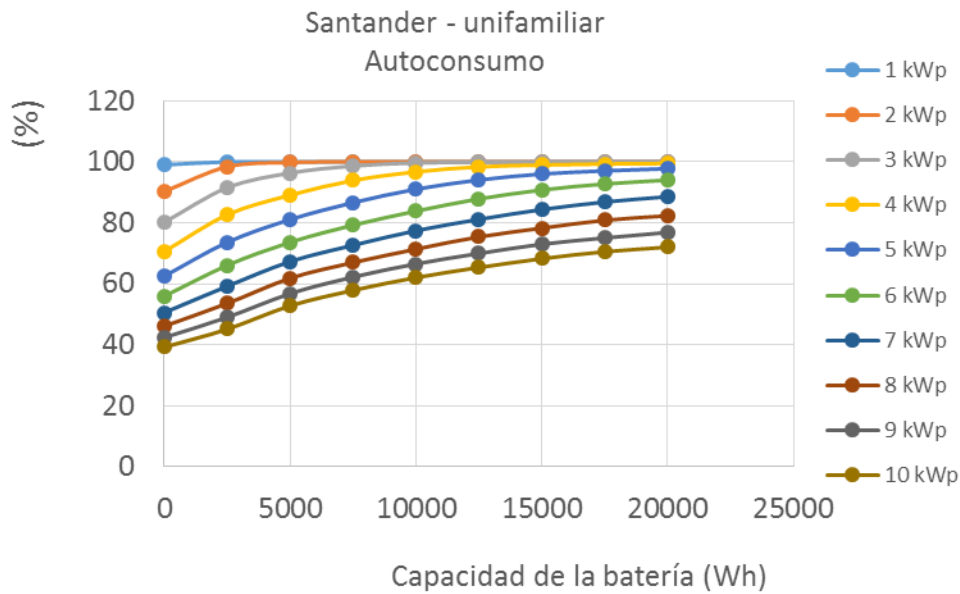


Figura 26. Variación del autoconsumo en función del tamaño de la batería para cada valor de potencia pico para pisos en Santander.

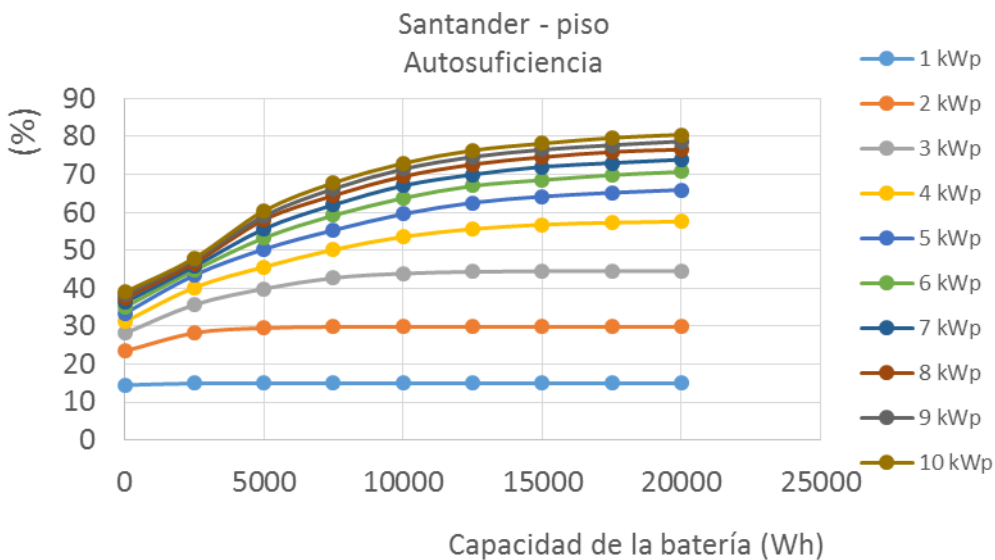
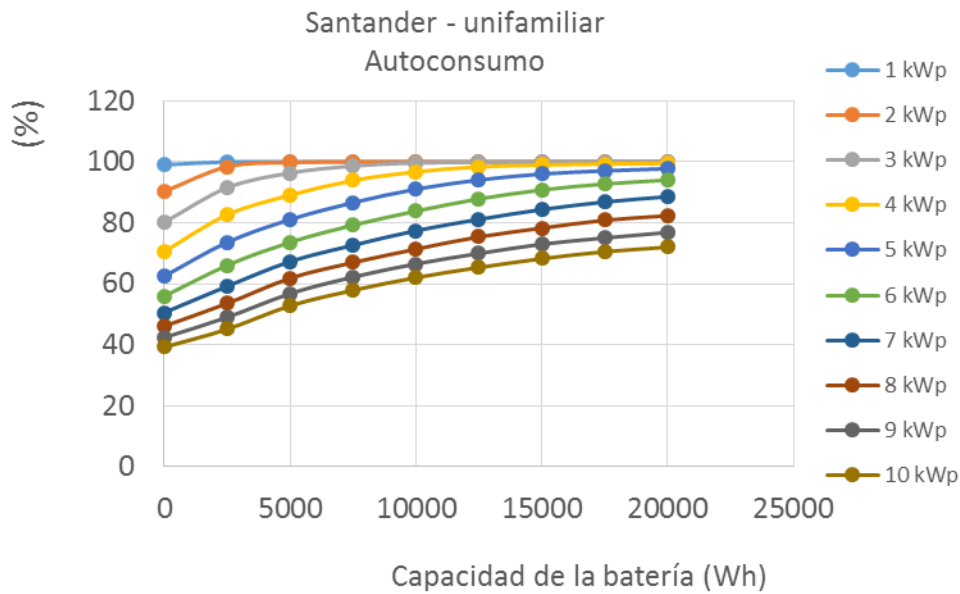


Figura 27. Variación de la autosuficiencia en función del tamaño de la batería para cada valor de potencia pico para pisos en Santander.



**Figura 28. Variación del autoconsumo en función del tamaño de la batería para cada valor de potencia pico para viviendas unifamiliares en Santander.**

Estos resultados muestran comportamientos similares para todas las localidades. Para cada una de ellas hay distintas posibilidades de alcanzar un valor de autosuficiencia en función del tamaño de la potencia pico instalada y la capacidad de la batería.

Hay que tener en cuenta que tamaños de batería pequeños hace que tengamos un ciclo de carga –descarga diario– mientras que tamaños muy grandes pueden encarecer los sistemas.

Sin duda el equilibrio deberá marcarlo un riguroso análisis económico tanto de la inversión como de la vida media de las baterías.



### 3. Elaboración de un documento sobre buenas prácticas para el desarrollo del autoconsumo fotovoltaico

A partir de los resultados obtenidos es posible proponer un modelo que nos permita de una manera sencilla conocer cuál es el tamaño óptimo de un sistema fotovoltaico. Este modelo parte de tres datos esenciales:

- Radiación media diaria anual sobre superficie de paneles
- Consumo medio diario anual
- Porcentaje del consumo que se produce durante las horas de Sol

Con estos tres datos es posible obtener:

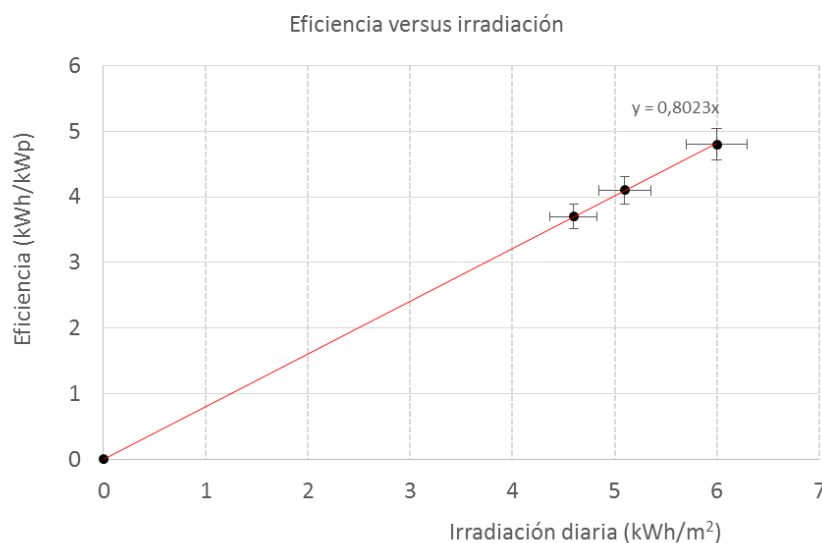
- La potencia pico necesaria para suministrar ese consumo
- El Valor teórico máximo de la autosuficiencia y el valor esperable de autoconsumo

De acuerdo con los datos obtenidos, si representamos la eficiencia (yield) en función de la irradiación incidente, en valor medio anual, para las localidades estudiadas obtenemos que estos puntos se ajustan a una recta cuya pendiente coincide con el valor del Performance ratio, ver figura 30. En esta figura hemos representado las barras de error tanto en irradiación como en el Performance ratio con un valor del 5% que es mayor que la dispersión obtenida en el valor del PR para todos los casos estudiados.

Un sencillo cálculo permite expresar la potencia a instalar en función del consumo para cada ciudad estudiada.

$$Potencia\ Pico = \frac{1}{Yield} Consumo$$

Si lo representamos obtenemos,

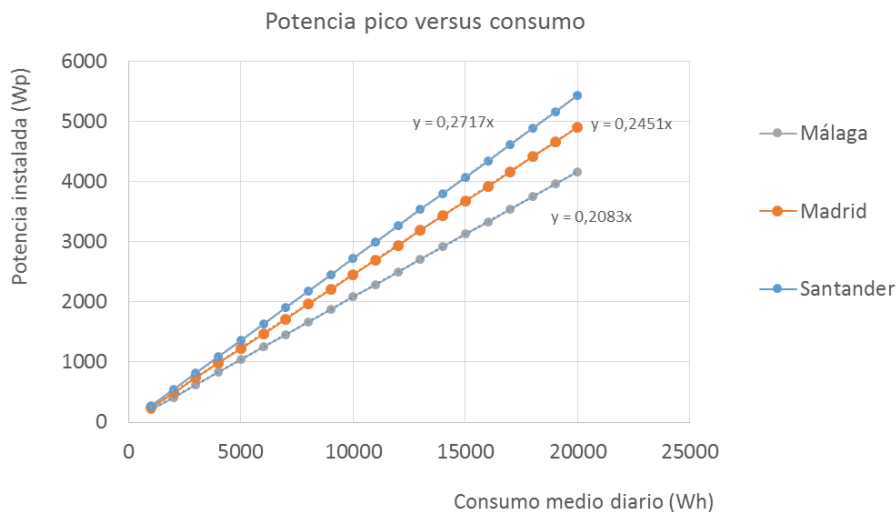


**Figura 29. Eficiencia en función de la irradiación media diaria anual para las localidades estudiadas**

Un sencillo cálculo permite expresar la potencia a instalar en función del consumo para cada ciudad estudiada.

$$Potencia\ Pico = \frac{1}{Yield} Consumo$$

Si lo representamos obtenemos,



**Figura 30. Potencia pico necesaria en función del consumo para cada localidad estudiada.**

Estas curvas nos permiten saber la potencia pico instalada en función del consumo medio diario anual de la instalación. Este valor no depende de la forma del consumo, es decir, es independiente de como sea el perfil horario de este consumo.

Con esta potencia pico, los valores de autoconsumo y autosuficiencia coinciden y su valor es aproximadamente el 70% del consumo diurno del sistema. Este es el único valor que depende del perfil de consumo y condiciona el valor alcanzable de ahorro energético

Sería muy fácil extrapolar estos resultados a otras ciudades españolas.

Si el sistema fotovoltaico tiene baterías, es necesario desarrollar para cada localidad las curvas de autosuficiencia en función de la potencia pico y la capacidad de la batería.

Cabe destacar que, para un mismo perfil de consumo, los resultados obtenidos varían linealmente con el consumo para una misma localidad, por lo que si el consumo es menos la potencia pico necesaria disminuirá en la misma proporción. Lo mismo con la capacidad de la batería.

Estos resultados nos muestran un camino para un sencillo dimensionado de los sistemas fotovoltaicos de autoconsumo y permiten ofrecer una guía sencilla para que los usuarios puedan conocer que potencia necesitan para cubrir un consumo determinado y que ahorro energético podrían obtener.

## **4. Estudio de los incentivos municipales al desarrollo de los sistemas fotovoltaicos de autoconsumo**

Las instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo por desarrollo tecnológico y costes se han convertido en una alternativa real para la generación de energía eléctrica. Estos sistemas tienen la ventaja de generar su electricidad en el punto de consumo, intercambiando con la red eléctrica tanto los excedentes de energía como los déficits que no pueda cubrir el sistema fotovoltaico.

Sin embargo, con la entrada en vigor del RD 900/2015 el autoconsumo eléctrico en España está sujeto a diferentes trabas, como el denominado impuesto al sol o la penalización a los sistemas con almacenamiento, que ha hecho que se haya desincentivado su implementación hasta tal punto que parecía hacerlo inviable para la mayoría de los agentes económicos.

A pesar de dichas limitaciones y penalizaciones, se han seguido haciendo instalaciones de autoconsumo en toda la geografía española y los ayuntamientos han desarrollado normas e impulsado iniciativas para apoyar el desarrollo de este tipo de instalaciones, demostrando así que las ciudades deben ser unos agentes fundamentales en el proceso de transición energética en España.

En este informe hacemos una evaluación de la situación de los incentivos económicos que los diferentes ayuntamientos recogen en sus normativas municipales para apoyar a los sistemas de autoconsumo

Dichos incentivos se basan, fundamentalmente, en las bonificaciones existentes en la imposición de carácter local, tales como el Impuesto sobre Bienes Inmuebles (IBI) y el Impuesto sobre Instalaciones, Construcciones y Obras (ICIO)

Este informe recopila las bonificaciones existentes en dichos impuestos en el ejercicio 2018, con la pretensión de convertirse en un estudio recurrente cuando las novedades impositivas así lo requieran, recogiendo las ordenanzas fiscales aplicables a 2018 de todas las capitales de provincia y aquellas ciudades de población mayor de 100.000 habitantes, según el censo del año 2017, lo que asciende a un total de 77 ciudades.

### **4.1. Legislación actual sobre imposición local**

La legislación actual sobre impuestos locales se recoge fundamentalmente en el Real Decreto Legislativo 2/2004, de 5 de marzo, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley Reguladora de las Haciendas Locales.

Así el art 59 establece,

#### **Artículo 59 Enumeración de impuestos**

**1.** Los ayuntamientos exigirán, de acuerdo con esta ley y las disposiciones que la desarrollan, los siguientes impuestos:

- a) Impuesto sobre Bienes Inmuebles.
- b) Impuesto sobre Actividades Económicas.
- c) Impuesto sobre Vehículos de Tracción Mecánica.

**2.** Asimismo, los ayuntamientos podrán establecer y exigir el Impuesto sobre Construcciones, Instalaciones y Obras y el Impuesto sobre el Incremento de Valor de los Terrenos de Naturaleza Urbana, de acuerdo con esta ley, las disposiciones que la desarrollen y las respectivas ordenanzas fiscales.

En relación con el IBI, existen una serie de inmuebles que por su titularidad están exentos de tributar:

#### **Artículo 62 Exenciones**

**1.** Estarán exentos los siguientes inmuebles:

- a) Los que sean propiedad del Estado, de las comunidades autónomas o de las entidades locales que estén directamente afectos a la seguridad ciudadana y a los servicios educativos y penitenciarios, así como los del Estado afectos a la defensa nacional.
- b) Los bienes comunales y los montes vecinales en mano común.
- c) Los de la Iglesia Católica, en los términos previstos en el [Acuerdo entre el Estado Español y la Santa Sede sobre Asuntos Económicos, de 3 de enero de 1979](#), y los de las asociaciones confesionales no católicas legalmente reconocidas, en los términos establecidos en los respectivos acuerdos de cooperación suscritos en virtud de lo dispuesto en el [artículo 16 de la Constitución](#).
- d) Los de la Cruz Roja Española.
- e) Los inmuebles a los que sea de aplicación la exención en virtud de convenios internacionales en vigor y, a condición de reciprocidad, los de los Gobiernos extranjeros destinados a su representación diplomática, consular, o a sus organismos oficiales.
- f) La superficie de los montes poblados con especies de crecimiento lento reglamentariamente determinadas, cuyo principal aprovechamiento sea la madera o el corcho, siempre que la densidad del arbolado sea la propia o normal de la especie de que se trate.
- g) Los terrenos ocupados por las líneas de ferrocarriles y los edificios enclavados en los mismos terrenos, .....

**2.** Asimismo, previa solicitud, estarán exentos:

- a) Los bienes inmuebles que se destinen a la enseñanza por centros docentes acogidos, total o parcialmente, al régimen de concierto educativo, en cuanto a la superficie afectada a la enseñanza concertada.

Esta exención deberá ser compensada por la Administración competente.

- b) Los declarados expresa e individualizadamente monumento o jardín histórico de interés cultural...
- .....c) La superficie de los montes en que se realicen repoblaciones forestales o regeneración de masas arboladas sujetas a proyectos de ordenación o planes técnicos aprobados por la Administración forestal. Esta exención tendrá una duración de 15 años, contados a partir del período impositivo siguiente a aquel en que se realice su solicitud.

3. Las ordenanzas fiscales podrán regular una exención a favor de los bienes de que sean titulares los centros sanitarios de titularidad pública....

A continuación, aparecen en la ley una serie bonificaciones obligatorias, que deben aplicar todos los ayuntamientos:

#### **Artículo 73 Bonificaciones obligatorias**

....

2. *Tendrán derecho a una bonificación del 50 por ciento en la cuota íntegra del Impuesto, durante los tres períodos impositivos siguientes al del otorgamiento de la calificación definitiva, las viviendas de protección oficial y las que resulten equiparables a éstas conforme a la normativa de la respectiva comunidad autónoma.*

.....

Posteriormente se definen las bonificaciones potestativas, es decir, aquellas que cada ayuntamiento puede elegir aplicar o no, entre otras la referida a los edificios con instalaciones de autoconsumo

#### **Artículo 74 Bonificaciones potestativas**

.....

5. **Las ordenanzas fiscales podrán regular una bonificación de hasta el 50 por ciento de la cuota íntegra del impuesto para los bienes inmuebles en los que se hayan instalado sistemas para el aprovechamiento térmico o eléctrico de la energía proveniente del sol.** La aplicación de esta bonificación estará condicionada a que las instalaciones para producción de calor incluyan colectores que dispongan de la correspondiente homologación por la Administración competente. Los demás aspectos sustantivos y formales de esta bonificación se especificarán en la ordenanza fiscal.

Se establece por tanto un porcentaje de bonificación máxima del 50%, sin fijar la duración máxima de la bonificación. En las ordenanzas fiscales, cada Ayuntamiento anualmente, puede establecer si aplica esta bonificación y las condiciones de esta: el porcentaje, la duración y las restricciones a determinados tipos de inmuebles. Por desgracia es habitual restringir la bonificación al uso residencial, dejando fuera a un importante nicho de mercado como los edificios del sector terciario o industrial en lo que el patrón de consumo encaja muy bien con las horas de generación de energía solar.

En cuanto al Impuesto sobre Instalaciones, Construcciones y Obras (ICIO), se define como:

***Artículo 100 Naturaleza y hecho imponible***

***1. El Impuesto sobre Construcciones, Instalaciones y Obras es un tributo indirecto cuyo hecho imponible está constituido por la realización, dentro del término municipal, de cualquier construcción, instalación u obra para la que se exija obtención de la correspondiente licencia de obras o urbanística, se haya obtenido o no dicha licencia, o para la que se exija presentación de declaración responsable o comunicación previa, siempre que la expedición de la licencia o la actividad de control corresponda al ayuntamiento de la imposición.***

En cuanto a las bonificaciones recoge, entre otras, bonificación de hasta un 95% para construcciones que incorporen energía solar:

*2. Las ordenanzas fiscales podrán regular las siguientes bonificaciones sobre la cuota del impuesto:*

*•a) Una bonificación de hasta el 95 por ciento a favor de las construcciones, instalaciones u obras que sean declaradas de especial interés o utilidad municipal por concurrir circunstancias sociales, culturales, histórico artísticas o de fomento del empleo que justifiquen tal declaración. Corresponderá dicha declaración al Pleno de la Corporación y se acordará, previa solicitud del sujeto pasivo, por voto favorable de la mayoría simple de sus miembros.*

*•b) Una bonificación de hasta el 95 por ciento a favor de las construcciones, instalaciones u obras en las que se incorporen sistemas para el aprovechamiento térmico o eléctrico de la energía solar. La aplicación de esta bonificación estará condicionada a que las instalaciones para producción de calor incluyan colectores que dispongan de la correspondiente homologación de la Administración competente.*

*La bonificación prevista en este párrafo se aplicará a la cuota resultante de aplicar, en su caso, la bonificación a que se refiere el párrafo a) anterior.*

En resumen, las bonificaciones en IBI e ICIO relativas al autoconsumo, son potestativas y por tanto requieren que las ordenanzas fiscales de cada ayuntamiento las regule y defina para poder ser de aplicación.

A continuación, se recoge en una tabla resumen las principales características en el caso del IBI.

Municipio	Porcentaje	Duración (años)	Total	Uso al que aplica	Limitaciones
Alcalá de Henares	50 %	1	0,5	Vivienda	-
Alcobendas	30-50%	1	0,3-0,5	Todos	Cubran 30-50% del consumo
Almería	50 %	3	1,5	Vivienda	Pot> 2 Kw/ 225 m2
Ávila	50 %	1	0,5	Todos	
Badalona	50 %	4	2	Todos	Instalación superior a 1 Kw
Barakaldo	50 %	3	1,5	Vivienda	
Barcelona	50 %	3	1,5	Vivienda	
Bilbao	50 %	5	2,5	Todos	
Cádiz	25,00 %	3	0,75	Vivienda	Pot>5 Kw/100m <sup>2</sup>
Castellón de la Plana	50,00 %	1-10	2,5	Todos	Duración según Valor Inmueble Pot>5 Kw/100m <sup>2</sup>
Ciudad Real	50,00 %	30	15	Todos	
Córdoba	50,00 %	30	15	Vivienda habitual	Límite: coste de instalación
Coruña (A)	50,00 %	3	1,5	Vivienda habitual	Pot>5 Kw/100m <sup>2</sup> u Obtener certific. Energ A
San Sebastián	10,00 %	5	0,5	Vivienda	Valor catastral < 250,000€
Dos Hermanas	50,00 %	5	2,5	Límite de 200€. Cubra >50% de demanda	
Elche/Elx	50,00 %	3	1,5	Vivienda	Pot>5 Kw/200m <sup>2</sup>
Getafe	30,00 %	10	3	Todos	
Gijón	40,00 %	5	2	Vivienda	Pot>2,5 Kw/200m <sup>2</sup>
Granada	50,00 %	1	0,5	Todos	
Guadalajara	30,00 %	5	1,5	Vivienda	
Huelva	50,00 %	3	1,5	Vivienda	
Huesca	50,00 %	5	2,5	Vivienda	Pot>5 Kw/100m <sup>2</sup>
Jaén	50,00 %	1	0,5	Todos	
Jerez de la Frontera	25,00 %	1	0,25	Vivienda	
Leganés	30,00 %	2	0,6	Todos	
Lleida	30,00 %	5	1,5	Vivienda (bonif. Progresiva 50-10%)	
Logroño	25,00 %	3	0,75	Vivienda habitual	
Madrid	50,00 %	3	1,5	Vivienda	Cubra >50% de demanda
Málaga	15,00 %	3	0,45	Vivienda	>4m <sup>2</sup> paneles
Marbella	25,00 %	5	1,25	Todos	
Mataró	50,00 %	3	1,5	Vivienda	
Móstoles	25,00 %	4	1	Predominantemente residencial	Pot>5 Kw/100m <sup>2</sup>
Oviedo	30,00 %	5	1,5	Predominantemente residencial	
Palencia	50,00 %	5	2,5	Vivienda	
Palma de Mallorca	50,00 %	3	1,5	Todos	
Sabadell	50,00 %	5	2,5	Vivienda	
Salamanca	50,00 %	5	2,5	Vivienda	Cubra >=50% de demanda
San Cristóbal de La Laguna	25,00 %	5	1,25	Vivienda	



Santa Coloma de Gramenet	50,00 %	3	1,5		
Santa Cruz de Tenerife	50,00 %	5	2,5	Vivienda	
Terrassa	25,00 %	5	1,5	Vivienda unifamiliar	Cubra >=30% de demanda
Toledo	30,00 %	3	0,9	Predominantemente residencial	Pot>2,5 Kw/100m <sup>2</sup>
Valencia	50,00 %	3	1,5	Predominantemente residencial	Pot>5 Kw/100m <sup>2</sup>
Vitoria-Gasteiz	50,00 %	3	1,5	Vivienda y edificio mayoritariamente vivienda	Pot>5 Kw/100m <sup>2</sup>
Zaragoza	50,00 %	3	1,5	Predominantemente residencial	Pot>2,5 Kw/100m <sup>2</sup>

## 4.2. Comparativa Bonificaciones al Impuesto sobre Bienes Inmuebles

En la siguiente tabla se muestran las bonificaciones al impuesto sobre bienes inmuebles en los ayuntamientos analizados.

En esta tabla se muestran los siguientes campos:

**Porcentaje de bonificación:** Es el porcentaje de bonificación aplicado a la base imponible del impuesto. Pueden existir diferentes porcentajes para cada uso de los inmuebles, por ej., vivienda. El porcentaje máximo de bonificación establecido en la ley es de un 50%

**Duración:** Es el número de años en los que se aplica la bonificación. La ley no marca una duración máxima, si bien suele estar entre 1 y 5 años. Algunos municipios no determinan la duración, por lo que se entiende que es indefinida (en dichos casos, se ha establecido una duración de 30 años).

**Total:** es el producto del porcentaje de bonificación por la duración. Es una valoración de la bonificación, ya que tiene en cuenta el porcentaje de bonificación y la duración de esta.

**Uso al que se aplica:** En algunos casos se limita la bonificación a determinados usos, habitualmente residencial o vivienda habitual.

**Limitaciones:** en algunos municipios se establecen limitaciones a la bonificación. Las más habituales son potencia mínima instalada o porcentaje de demanda cubierta por la energía solar.

Hay algunas limitaciones que, en la práctica, hacen inviable la bonificación, como, por ejemplo, establecer un mínimo de 5 Kw de potencia pico instalada por cada 100 m<sup>2</sup> de vivienda. Dicho límite se recogía en la ordenanza fiscal de Madrid hasta el año 2017, habiéndose cambiado para el ejercicio 2018.

En el caso de Madrid el número de viviendas acogidas a dicha bonificación hasta el año 2017 era nulo.

Municipio	Porcentaje	Duración (años)	Total	Uso al que aplica	Limitaciones
Alcalá de Henares	50 %	1	0,5	Vivienda	-
Alcobendas	30-50%	1	0,3-0,5	Todos	Cubran 30-50% del consumo
Almería	50 %	3	1,5	Vivienda	Pot > 2 Kw/ 225 m <sup>2</sup>
Ávila	50 %	1	0,5	Todos	
Badalona	50 %	4	2	Todos	Instalación superior a 1 Kw
Barakaldo	50 %	3	1,5	Vivienda	
Barcelona	50 %	3	1,5	Vivienda	
Bilbao	50 %	5	2,5	Todos	
Cádiz	25,00 %	3	0,75	Vivienda	Pot > 5 Kw/100m <sup>2</sup>
Castellón de la Plana	50,00 %	1-10	2,5	Todos	Duración según Valor Inmueble Pot > 5 Kw/100m <sup>2</sup>
Ciudad Real	50,00 %	30	15	Todos	
Córdoba	50,00 %	30	15	Vivienda habitual	Límite: coste de instalación
Coruña (A)	50,00 %	3	1,5	Vivienda habitual	Pot > 5 Kw/100m <sup>2</sup> u Obtener certific. Energ A
San Sebastián	10,00 %	5	0,5	Vivienda	Valor catastral < 250,000€
Dos Hermanas	50,00 %	5	2,5	Límite de 200€. Cubra > 50% de demanda	
Elche/Elx	50,00 %	3	1,5	Vivienda	Pot > 5 Kw/200m <sup>2</sup>
Getafe	30,00 %	10	3	Todos	

Gijón	40,00 %	5	2	Vivienda	Pot>2,5 Kw/200m <sup>2</sup>
Granada	50,00 %	1	0,5	Todos	
Guadalajara	30,00 %	5	1,5	Vivienda	
Huelva	50,00 %	3	1,5	Vivienda	
Huesca	50,00 %	5	2,5	Vivienda	Pot>5 Kw/100m <sup>2</sup>
Jaén	50,00 %	1	0,5	Todos	
Jerez de la Frontera	25,00 %	1	0,25	Vivienda	
Leganés	30,00 %	2	0,6	Todos	
Lleida	30,00 %	5	1,5	Vivienda (bonif. Progresiva 50-10%)	
Logroño	25,00 %	3	0,75	Vivienda habitual	
Madrid	50,00 %	3	1,5	Vivienda	Cubra >50% de demanda
Málaga	15,00 %	3	0,45	Vivienda	>4m <sup>2</sup> paneles
Marbella	25,00 %	5	1,25	Todos	
Mataró	50,00 %	3	1,5	Vivienda	
Móstoles	25,00 %	4	1	Predominant emente residencial	Pot>5 Kw/100m <sup>2</sup>
Oviedo	30,00 %	5	1,5	Predominant emente residencial	
Palencia	50,00 %	5	2,5	Vivienda	
Palma de Mallorca	50,00 %	3	1,5	Todos	

Sabadell	50,00 %	5	2,5	Vivienda	
Salamanca	50,00 %	5	2,5	Vivienda	Cubra >=50% de demanda
San Cristóbal de La Laguna	25,00 %	5	1,25	Vivienda	
Santa Coloma de Gramenet	50,00 %	3	1,5		
Santa Cruz de Tenerife	50,00 %	5	2,5	Vivienda	
Terrassa	25,00 %	5	1,5	Vivienda unifamiliar	Cubra >=30% de demanda
Toledo	30,00 %	3	0,9	Predominante residencial	Pot>2,5 Kw/100m <sup>2</sup>
Valencia	50,00 %	3	1,5	Predominante residencial	Pot>5 Kw/100m <sup>2</sup>
Vitoria-Gasteiz	50,00 %	3	1,5	Vivienda y edificio mayoritariamente vivienda	Pot>5 Kw/100m <sup>2</sup>
Zaragoza	50,00 %	3	1,5	Predominante residencial	Pot>2,5 Kw/100m <sup>2</sup>

### VALORACION

De acuerdo con los datos recogidos en la tabla, un total 45 municipios recogen bonificaciones en el IBI, si bien en 7 de ellos se imponen graves limitaciones que en la práctica lo hacen inviable (potencia instalada mayor de 5 Kw/ por cada 100 m<sup>2</sup>).

En el resto de los municipios analizados (31) no se recoge ninguna bonificación del IBI al autoconsumo eléctrico. Estos municipios están listados en la siguiente tabla.

Municipio	Municipio
Albacete	Palmas de Gran Canaria (Las)
Alcorcón	Pamplona/Iruña
Algeciras	Parla
Alicante/Alacant	Pontevedra
Badajoz	Reus
Burgos	Santander
Cáceres	Segovia
Cartagena	Sevilla
Cuenca	Soria
Fuenlabrada	Tarragona
Girona	Telde
Hospitalet de Llobregat (L)	Teruel
León	Torrejón de Ardoz
Lugo	Valladolid
Murcia	Vigo
Ourense	Zamora

### 4.3. Clasificación de municipios por bonificaciones del IBI

La siguiente clasificación se ha elaborado teniendo en cuenta los siguientes criterios:

1. Mayor importe total de la bonificación (Porcentaje de bonificación x duración)
2. A igual importe, se valora si se limitan los usos a los que se aplica la bonificación, por ejemplo, solo a viviendas.
3. A igualdad de los anteriores criterios se valora si existen limitaciones a la bonificación, por ej., si se existe un mínimo de potencia a instalar.
4. A igualdad de los anteriores, se ordena de mayor población afectada a menor, dado que se aplicará a un mayor número de habitantes.

	Municipio	Hab.	%	Duración años	Total	Uso al que se aplica	Limitaciones
1	Ciudad Real	74641	50%	30	15	Todos	
2	Córdoba	325916	50%	30	15	Vivienda habitual	Límite: coste de instalación
3	Getafe	178288	30%	10	3	Todos	
4	Bilbao	345110	50%	5	2,5	Todos	
5	Sabadell	209931	50%	5	2,5	Vivienda	
6	Santa Cruz de Tenerife	203692	50%	5	2,5	Vivienda	
7	Palencia	78892	50%	5	2,5	Vivienda	
8	Salamanca	144436	50%	5	2,5	Vivienda	Cubra >=50% de demanda
9	Dos Hermanas	132551	50%	5	2,5	límite de 200€. Cubra >50% de demanda	
10	Huesca	52812	50%	5	2,5	Vivienda	Pot>5 Kw/100m <sup>2</sup>
11	Castellón de la Plana/Castelló de la Plana	169498	50%	1-10	2,5	Todos	Duración según Valor Inmueble Pot>5 Kw/100m <sup>2</sup>
12	Badalona	215848	50%	4	2	Todos	Instalacion superior a 1 Kw
13	Gijón	272365	40%	5	2	Vivienda	Pot>2,5 Kw/200m <sup>2</sup>
14	Palma de Mallorca	406492	50%	3	1,5	Todos	
15	Santa Coloma de Gramenet	117597	50%	3	1,5	Todos	
16	Barcelona	1620809	50%	3	1,5	Vivienda	
17	Oviedo	220301	30%	5	1,5	Predominante mente residencial	
18	Huelva	145115	50%	3	1,5	Vivienda	
19	Lleida	137327	30%	5	1,5	Vivienda (bonif. Progresiva 50-10%)	
20	Mataró	126127	50%	3	1,5	Vivienda	
21	Barakaldo	100313	50%	3	1,5	Vivienda	

22	Guadalajara	84145	30%	5	1,5	Vivienda	
23	Almería	195389	50%	3	1,5	Vivienda	Pot>2 Kw/225m <sup>2</sup>
24	Madrid	3182981	50%	3	1,5	Vivienda	Cubra >50% de demanda
25	Zaragoza	664938	50%	3	1,5	Predominante mente residencial	Pot>2,5 Kw/100m <sup>2</sup>
26	Elche/Elx	228675	50%	3	1,5	Vivienda	Pot>5 Kw/200m <sup>2</sup>
27	Coruña (A)	244099	50%	3	1,5	Vivienda habitual	Pot>5 Kw/100m <sup>2</sup> u Obtener certific. Energ A
28	Valencia	787808	50%	3	1,5	Predominante mente residencial	Pot>5 Kw/100m <sup>2</sup>
29	Vitoria- Gasteiz	246976	50%	3	1,5	Vivienda y edificio mayoritariame nte vivienda	Pot>5 Kw/100m <sup>2</sup>
30	Marbella	141172	25%	5	1,25	Todos	
31	San Cristóbal de La Laguna	153655	25%	5	1,25	Vivienda	
32	Terrassa	216428	25%	5	1,25	Vivienda unifamiliar	Cubra >30% de demanda
33	Móstoles	206589	25%	4	1	Predominante mente residencial	Pot>5 Kw/100m <sup>2</sup>
34	Toledo	83741	30%	3	0,9	Predominante mente residencial	Pot>2,5 Kw/100m <sup>2</sup>
35	Logroño	150979	25%	3	0,75	Vivienda habitual	
36	Cádiz	118048	25%	3	0,75	Vivienda	Pot>5 Kw/100m <sup>2</sup>
37	Leganés	187720	30%	2	0,6	Todos	
38	Granada	232770	50%	1	0,5	Todos	
39	Jaén	114238	50%	1	0,5	Todos	
40	Ávila	58149	50%	1	0,5	Todos	
41	Alcalá de Henares	194310	50%	1	0,5	Vivienda	-

42	San Sebastián	186370	10%	5	0,5	Vivienda	valor catastral < 250,000€
43	Málaga	569002	15%	3	0,45	Vivienda	>4m <sup>2</sup> paneles
44	Alcobendas	114864	30-50%	1	0,30	Todos	Cubran 30-50% del consumo
45	Jerez de la Frontera	212915	25%	1	0,25	Vivienda	

#### 4.4. Comparativa de bonificaciones al impuesto de construcciones instalaciones y obras ICIO

En la siguiente tabla se muestran las bonificaciones al impuesto de construcciones instalaciones y obras en los ayuntamientos analizados.

En esta tabla se muestran los siguientes campos:

**Porcentaje de bonificación:** Es el porcentaje de bonificación aplicado a la base imponible del impuesto. Pueden existir diferentes porcentajes para cada uso de los inmuebles, por ej., vivienda.

*El porcentaje máximo de bonificación establecido en la ley es de un 95%*

Dicho impuesto se abona una única vez cuando se solicita licencia para la obra, por lo que la duración es únicamente de un año en todos los casos.

**Limitaciones:** en algunos municipios se establecen limitaciones a la bonificación. Las más habituales son potencia mínima instalada o porcentaje de demanda cubierta por la energía solar.

Hay algunas limitaciones que, en la práctica, hacen inviable la bonificación, como, por ejemplo, establecer un mínimo de 5 Kw de potencia pico instalada por cada 100 m<sup>2</sup> de vivienda.

Municipio	Porcentaje de Bonif.	Limitaciones
Albacete	50 %	
Alcalá de Henares	90 %	
Alcobendas	50 %	Cubran 50% del consumo
Alcorcón	50% (Gral.) - 95%(vivienda)	



Algeciras	0 %	
Alicante/Alacant	0 %	
Almería	0 %	
Ávila	95 %	
Badajoz	0 %	
Badalona	50 %	Instalacion superior a 1 Kw
Barakaldo	90 %	
Barcelona	95 %	
Bilbao	50 %	
Burgos	0	
Cáceres	50 %	No exceda de 10 kWp en viviendas ni de 100 kWp en empresas
Cádiz	0	
Cartagena	50 %	
Castellón de la Plana	95 %	
Ciudad Real	60 %	
Córdoba	95 %	
Cuenca	0 %	
Coruña (A)	95 %	
San Sebastián	95 %	
Dos Hermanas	50 %	Cubra >50% de demanda
Elche/Elx	95 %	
Fuenlabrada	0 %	
Getafe	95 %	
Gijón	95 %	Uso vivienda
Girona	95%	
Granada	95 %	
Guadalajara	0 %	
Hospitalet de Llobregat (L)	95 %	
Huelva	25 %	
Huesca	75 %	Pot>5 Kw/100m <sup>2</sup>
Jaén	0 %	

Jerez de la Frontera	0 %	
Leganés	5 %	Pot>5 Kw/100m <sup>2</sup>
León	0 %	
Lleida	95 %	
Logroño	30 %	
Lugo	50 %	
Madrid	30% ó 95%	Todos o vivienda
Málaga	95 %	Sistemas conectados a la red de distrib.
Marbella	95 %	
Mataró	95 %	
Móstoles	0 %	
Murcia	50 %	
Ourense	30 %	
Oviedo	30 %	Predominantemente residencial
Palencia	80 %	
Palma de Mallorca	95 %	
Palmas de Gran Canaria (Las)	75 %	
Pamplona/Iruña	0 %	
Parla	0 %	
Pontevedra	50 %	
Reus	20-50 %	Según porcentaje que cubra demanda
Sabadell	95 %	
Salamanca	95 %	
San Cristóbal de La Laguna	95 %	
Santa Coloma de Gramenet	95 %	
Santa Cruz de Tenerife	90 %	Residencial, industrial y comercial
Santander	30% ó 95%	Todos o vivienda
Segovia	95 %	
Sevilla	0 %	
Soria	50 %	Viviendas

Tarragona	8 %	
Telde	75 %	
Terrassa	95 %	
Teruel	25 %	Cubra >25% de demanda
Toledo	30 %	
Torrejón de Ardoz	95 %	
Valencia	95 %	Pot>5 Kw/100m <sup>2</sup>
Valladolid	95 %	Cubra >25% de demanda
Vigo	30% ó 95%	Todos o vivienda
Vitoria-Gasteiz	39 %	Pot>5 Kw/100m <sup>2</sup>
Zamora	0 %	
Zaragoza	30 %	

#### 4.5. Clasificación de municipios por bonificaciones de ICIO

La siguiente clasificación se ha elaborado teniendo en cuenta los siguientes criterios:

1. Mayor Porcentaje de bonificación
2. A igual importe, se valora si se limitan los usos a los que se aplica la bonificación, por ejemplo, solo a viviendas
3. A igualdad de los anteriores criterios se valora si existen limitaciones a la bonificación, por ej., si se existe un mínimo de potencia a instalar
4. A igualdad de los anteriores, se ordena de mayor población afectada a menor.

	Municipio	Hab.	%	Limitaciones
1	Barcelona	1620809	95%	
2	Palma de Mallorca	406492	95%	
3	Córdoba	325916	95%	
4	Hospitalet de Llobregat (L)	257349	95%	
5	Coruña (A)	244099	95%	

6	Granada	232770	95%	
7	Elche/Elx	228675	95%	
8	Terrassa	216428	95%	
9	Sabadell	209931	95%	
10	San Sebastián	186370	95%	
11	Getafe	178288	95%	
12	Castellón de la Plana	169498	95%	
13	San Cristóbal de La Laguna	153655	95%	
14	Salamanca	144436	95%	
15	Marbella	141172	95%	
16	Lleida	137327	95%	
17	Torrejón de Ardoz	128013	95%	
18	Mataró	126127	95%	
19	Santa Coloma de Gramenet	117597	95%	
20	Girona	99.013	95%	
21	Ávila	58149	95%	
22	Segovia	51756	95%	
23	Málaga	569002	95%	Sistemas conectados a la red de distrib.
24	Alcorcón	168141	50% (Gral.) - 95%(vivienda)	Todos o vivienda
25	Madrid	3182981	30% ó 95%	Todos o vivienda
26	Vigo	292986	30% ó 95%	Todos o vivienda
27	Santander	171951	30% ó 95%	Todos o vivienda
28	Gijón	272365	95%	Uso vivienda
29	Valladolid	299715	95%	Cubra >25% de demanda
30	Valencia	787808	95%	Pot>5 Kw/100m <sup>2</sup>
31	Alcalá de Henares	194310	90%	
32	Barakaldo	100313	90%	
33	Santa Cruz de Tenerife	203692	90%	Residencial, industrial y comercial
34	Palencia	78892	80%	
35	Palmas de Gran Canaria (Las)	377650	75%	

36	Telde	102005	75%	
37	Huesca	<b>52812</b>	75%	Pot>5 Kw/100m <sup>2</sup>
38	Ciudad Real	74641	60%	
39	Murcia	443243	50%	
40	Bilbao	345110	50%	
41	Cartagena	214177	50%	
42	Albacete	172816	50%	
43	Lugo	97995	50%	
44	Pontevedra	82671	50%	
45	Soria	38881	50%	Viviendas
46	Dos Hermanas	132551	50%	Cubra >50% de demanda
47	Alcobendas	114864	50%	Cubran 50% del consumo
48	Badalona	215848	50%	Instalación superior a 1 Kw
49	Cáceres	95917	50%	No exceda de 10 kWp en viviendas ni de 100 kWp en empresas
50	Vitoria-Gasteiz	246976	39%	Pot>5 Kw/100m <sup>2</sup>
51	Reus	103123	20-50%	Según porcentaje que cubra demanda
52	Zaragoza	664938	30%	
53	Logroño	150979	30%	
54	Ourense	105636	30%	
55	Toledo	83741	30%	
56	Oviedo	220301	30%	Predominantemente residencial
57	Huelva	145115	25%	
58	Teruel	35484	25%	Cubra >25% de demanda
59	Tarragona	131507	8%	
60	Leganés	187720	5%	Pot>5 Kw/100m <sup>2</sup>
61	Cuenca	54876	0%	
62	Zamora	62389	0%	
63	Guadalajara	84145	0%	

<b>64</b>	Jaén	114238	0%	
<b>65</b>	Cádiz	118048	0%	
<b>66</b>	Algeciras	121133	0%	
<b>67</b>	León	125317	0%	
<b>68</b>	Parla	125898	0%	
<b>69</b>	Badajoz	150543	0%	
<b>70</b>	Burgos	175623	0%	
<b>71</b>	Fuenlabrada	194669	0%	
<b>72</b>	Almería	195389	0%	
<b>73</b>	Pamplona/Iruña	197138	0%	
<b>74</b>	Móstoles	206589	0%	
<b>75</b>	Jerez de la Frontera	212915	0%	
<b>76</b>	Alicante/Alacant	329988	0%	
<b>77</b>	Sevilla	689434	0%	

Como puede observarse de los datos de la tabla anterior 32 municipios aplican una bonificación del 90% o superior, de los cuales 25 aplican la máxima bonificación que permite la ley. Estos municipios representan el 42%.

El 63% de los municipios aplican una bonificación igual o mayor del 50% en este impuesto.

En cambio, en el otro extremo, 17 municipios no tienen ningún tipo de bonificación en este impuesto para las instalaciones de autoconsumo.

En algunos municipios, las limitaciones que imponen para aplicar esta bonificación hacen que de facto no pueda aplicarse. Cabe destacar el caso del municipio de Leganés que además de bonificar sólo con un 5%, pone como condición que la potencia instalada sea mayor de 5 kWp por cada 100 m<sup>2</sup>.

Se ha desarrollado una herramienta web de visualización para que los usuarios puedan consultar fácilmente el documento. Esta aplicación está disponible en la página web de la Fundación Renovables y del Observatorio de la Energía.

## 5. Bibliografía

- Gustavo Nofuentes Garrido. “Dimensionado y diseño de sistemas fotovoltaicos conectados a red”, Máster Oficial en Tecnología de los sistemas de energía solar fotovoltaica de la Universidad Internacional de Andalucía, 2015
- Mariano Sidrach de Cardona Ortín “Dimensionado de sistemas fotovoltaicos conectados a red. Cálculo de los parámetros de eficiencia”, Máster Oficial en Tecnología de los sistemas de energía solar fotovoltaica de la Universidad Internacional de Andalucía, 2015
- Eduardo Lorenzo. Editorial: Progensa. “Ingeniería Fotovoltaica” Volumen 3, 2015.
- “Consumos del Sector Residencial en España”, IDAE “Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía”. SECH-SPAHOUSEC 2011
- Patricia Mora Segado, Jesús Carretero y Mariano Sidrach-de-Cardona. “Models to predict the operating temperature of different photovoltaic modules in outdoor conditions”, Progress in Photovoltaics: research and applications, 2015.
- “Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red”, IDAE “Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía”, 2011.
- R. Luthander, J. Widén, D. Nilsson, J. Palm (2105). Photovoltaic self-consumption in buildings: A review. Applied Energy 142, 80-94.
- G. Masson, S. Orlandi, and M. Reking, “Global market outlook for photovoltaics 2014-2018,” European Photovoltaic Industry Association, Tech. Rep., 2014.
- PV grid parity monitor. Residential sector. 3rd issue. February 2015.
- Palensky P, Dietrich D. Demand side management: demand response, intelligent energy systems, and smart loads. IEEE Trans Ind Inform, 7(3):381–8, 2011.
- Emil Nyholm, Mikael Odenberger, Filip Johnsson. An economic assessment of distributed solar PV generation in Sweden from a consumer perspective – The impact of demand response, Renewable Energy, 108, pp. 169-178, 2017.
- The Impact of the 2014 Opower Summer Behavioral Demand Response Campaigns on Peak-Time Energy Consumption Opower (2014).