

## Memoria del Proyecto de Investigación

Análisis y estudio del diseño de sistemas fotovoltaicos de autoconsumo en función de los perfiles de carga y la disponibilidad del recurso solar en distintos emplazamientos de la Unión Europea

Fundación Renovables

Madrid, noviembre de 2017

## Índice

<u>INTRODUCCIÓN</u>	<u>3</u>
<u>HIPÓTESIS DE PARTIDA</u>	<u>5</u>
<u>OBJETIVOS DEL PROYECTO</u>	<u>5</u>
<u>FASES DEL PROYECTO</u>	<u>7</u>
<u>METODOLOGÍA</u>	<u>8</u>
<u>PERFILES TÍPICOS DE CONSUMO RESIDENCIAL Y DE ESTABLECIMIENTOS COMERCIALES</u>	<u>10</u>
<u>DISPONIBILIDAD ENERGÉTICA EN VARIAS ZONAS CLIMÁTICAS DE LA UNIÓN EUROPEA</u>	<u>18</u>
<u>RESULTADOS: FACTORES DE AUTOCONSUMO Y AUTOSUFICIENCIA EN INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS DE AUTOCONSUMO</u>	<u>22</u>
RESULTADOS PARA LA CLASE DE PERFILES 1.	23
RESULTADOS PARA LA CLASE DE PERFILES 2.	26
RESULTADOS PARA LA CLASE DE PERFILES 3.	30
RESULTADOS PARA LA CLASE DE PERFILES 4.	34
<u>CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE LA FUNDACIÓN RENOVABLES PARA EL DISEÑO DE INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS DE AUTOCONSUMO RESIDENCIALES Y DE ESTABLECIMIENTOS COMERCIALES</u>	<u>37</u>
<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	<u>41</u>

---

## 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, lo que supuso un incremento del 50% respecto a la potencia instalada en 2015, alcanzándose una potencia total acumulada de más de 300 GW. 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, (*Bloomber 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>.

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.

---

<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.

<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.

---

### **Hipótesis de partida**

Atendiendo al estado de conocimientos descritos anteriormente, las hipótesis de partida que se plantearon para el desarrollo de este proyecto son las siguientes:

- 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.

## **Objetivos del proyecto**

El objetivo de este proyecto es la determinación de criterios que ayuden al 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.

Para ello se han analizado algunas de las condiciones climáticas en las que pueden este tipo de sistemas en la UE así como los varios perfiles de consumo típicos. Los resultados obtenidos pueden no solo facilitar una correcta inclusión de este tipo de sistemas en el mix energético sino también dotar a los actores implicados en este proceso (distribuidoras eléctrica, instaladores y usuarios finales) de información que facilite su diseño y un grado de operación óptimo de los mismos.

## Fases del proyecto

Este proyecto se ha desarrollado en las siguientes fases:

- Estudio y determinación de perfiles típicos de consumo residencial y de establecimientos comerciales en la UE.
- Estudio de la disponibilidad energética en distintas zonas climáticas de la UE.
- Análisis de los factores de autoconsumo y autosuficiencia en instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo en función de las cargas y la disponibilidad energética.
- Resultados y conclusiones.
- Propuestas de la Fundación Renovables para el diseño de instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo residenciales y de establecimientos comerciales.

Se presentan en los siguientes capítulos del informe la metodología utilizada, los perfiles de consumo y localidades seleccionadas para el estudio y los resultados obtenidos.

## Metodología

En este proyecto se va a realizar un estudio de los factores de autoconsumo y autosuficiencia para instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo, en función de los perfiles de consumo y el emplazamiento de la instalación.

Para el cálculo del autoconsumo y autosuficiencia se considerarán distintos tamaños del generador fotovoltaico.

Para el cálculo de la producción fotovoltaica de una instalación, se requieren en primer lugar los datos de irradiancia horaria, los cuales se obtienen a través de los datos de radiación horarios con la siguiente ecuación:

$$\text{Irradiancia\_horaria} = \frac{\text{Radiación\_horaria}(Wh / m^2)}{\Delta t(h)}$$

El intervalo horario corresponde a 1 hora.

A continuación, se calcula la temperatura de la célula horaria a partir de la temperatura ambiental horaria (Wenham, Green, Watt, y Corkish, 2007):

$$T_c(^{\circ}C) = T_a(^{\circ}C) + G(W / m^2) \frac{TONC(^{\circ}C) - 20}{800}$$

donde:

- $T_c$ = Temperatura horaria de la célula.
- $T_a$ = Temperatura horaria ambiente.
- $G$ = Irradiancia horaria.
- $TONC$ = Temperatura de Operación Nominal de la Célula. Se supone un valor de 47.5 °C.

Con estos datos, se está en condiciones de calcular la potencia horaria generada en el lado de corriente continua (DC), según:

$$\text{Potencia\_horaria\_DC}(kW) = P_p(kW_p) \frac{G(W / m^2)}{1000(W / m^2)} (1 + g(T_c(^{\circ}C) - 25))$$

donde:

- $g$  = Coeficiente de variación por temperatura. Se adopta un valor de -0.44 %.

Se supone que los generadores son sistemas fotovoltaicos conectados a red (SFCR) conectados a un inversor, con lo que se requiere calcular las pérdidas en el lado DC según:

$$Potencia\_DC\_entrada\_inversor = Potencia\_horaria\_DC(1 - 0.08)$$

También se hace necesario calcular la potencia AC a la salida del inversor, afectada por el rendimiento de éste según:

$$Potencia\_AC\_salida\_inversor = Potencia\_DC\_entrada\_inversor \cdot 0.94$$

La potencia AC consumida se calcula como:

$$Potencia\_AC\_consumida = Potencia\_AC\_salida\_inversor(1 - 0.02)$$

Los valores de pérdidas en el lado DC, AC y el rendimiento del inversor son supuestos.

Finalmente, se calcula la producción horaria fotovoltaica como se indica a continuación:

$$Energía\_horaria\_FV(kWh) = Potencia\_AC\_consumida(kW) \times \Delta t(h)$$

donde  $\Delta t$  es igual a 1 hora.

Una vez calculada la producción fotovoltaica, se calcula la energía horaria consumida del generador fotovoltaico directamente, según:

$$Energía\_FV\_autoconsumida = \begin{cases} Energía\_FV\_producida & \text{si Consumo} \geq Energía\_FV\_producida \\ Consumo & \text{en otro caso} \end{cases}$$

A partir de la energía FV autoconsumida, se calcula el autoconsumo y autosuficiencia utilizando las siguientes ecuaciones:

$$Autoconsumo(\%) = \frac{Energía\_FV\_autoconsumida}{Energía\_FV\_producida} \cdot 100$$

$$Autosuficiencia(\%) = \frac{Energía\_FV\_autoconsumida}{Consumo} \cdot 100$$

## Perfiles típicos de consumo residencial y de establecimientos comerciales

A partir de distintas propuestas analizadas, se ha optado por las recomendaciones elaboradas por *Ukerk Energy Data Centre* (UKERK, <http://ukerc.rl.ac.uk/index.html>) para la determinación de los perfiles de consumo de horarios gracias a la flexibilidad que permite la implementación de cada uno de ellos de cara a poder realizar y evaluar las distintas hipótesis sobre autoconsumo que se han considerado en este proyecto.

De acuerdo con el UKERK, un “perfil de carga” se puede definir como el patrón de uso de electricidad de un segmento de usuarios del mercado de suministro eléctrico. Un perfil de carga hace referencia tanto al periodo temporal (o periodo de liquidación) como al tipo de día o forma de uso diario (días laborables, festivos, fines de semana,...) y al patrón a lo largo del año (según las estaciones climáticas). Los perfiles de consumo pueden hacer referencia a datos de demanda y consumo obtenidos directamente o bien a datos derivados a partir de regresiones y coeficientes de perfil.

En total el UKERK propone 8 tipos de perfiles de consumo, según la clasificación siguiente:

- Clase 1: Perfil residencial sin restricciones
- Clase 2: Perfil residencial con restricciones
- Clase 3: Perfil no residencial sin restricciones
- Clase 4: Perfil no residencial con restricciones
- Clase 5: Perfil no residencial con máxima demanda y factor de carga pico inferior al 20 %
- Clase 6: Perfil no residencial con máxima demanda y factor de carga pico que varía entre el 20-30 %
- Clase 7: Perfil no residencial con máxima demanda y factor de carga pico que varía entre el 30-40 %
- Clase 8: Perfil no residencial con máxima demanda y factor de carga pico superior al 40 %

El concepto de “máxima demanda” que describe a los perfiles incluidos en las clases 5 a 8 se refiere a consumidores para los que se ha registrado algún dato con una demanda máxima para algún periodo de tiempo.

El factor de carga pico, expresado en porcentaje, es la relación entre el número de kWh suministrados durante un periodo determinado y el número de kWh que podrían

---

haberse suministrado si se hubiera habido una máxima demanda en ese periodo. Es decir, el factor de carga pico (*FCP*) anual se define de acuerdo con la expresión:

$$FCP = \frac{\text{Consumo\_anual}(kWh)}{\text{Máxima\_demanda}(kW) * \text{número\_horas\_año}} * 100$$

siendo el *número\_horas\_año* = 8.760 (8.784 en años bisiestos).

Se han definido también 3 tipos de días: laborables (de lunes a jueves), sábado y domingo. Esto se ha hecho porque los consumos pueden ser distintos en función de cada uno de estos tipos de días.

Finalmente se han considerado 5 periodos estacionales distintos:

- Invierno: define como el periodo desde el sábado previo al último domingo de octubre al sábado previo al último domingo de marzo (horario de invierno).
- Primavera: desde el último domingo de marzo al último viernes antes del inicio del verano (incluido ese viernes).
- Verano: periodo de diez semanas que empieza el sábado que precede al principio de verano.
- Verano alto: periodo de seis semanas y dos días desde el sexto sábado anterior a la fiesta de agosto de los bancos hasta (incluyendo) el domingo que sigue a ese festivo de agosto.

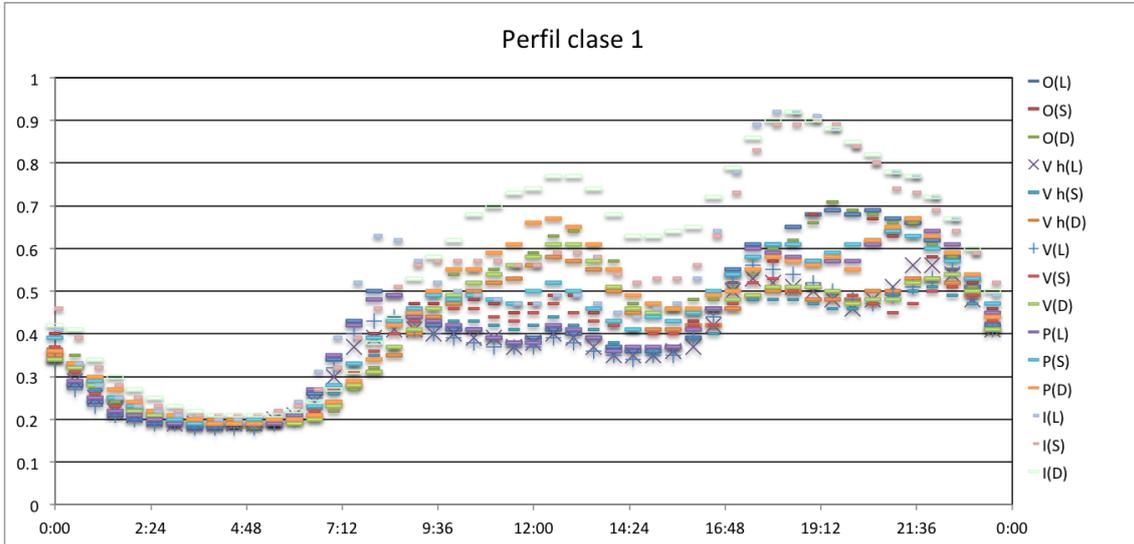
En las siguientes figuras se muestran cada uno de estos perfiles de consumo.

En este proyecto, los periodos de aplicación en que se utilizarán los distintos perfiles de consumo son los mismos que los que propone el UKERK, excepto para los periodos de verano que, en se usará el perfil asociado a verano alto o verano en función de la temperatura ambiente recibida cada día. También, en el caso de días festivos (si se dispone de esta información en las simulaciones) sin actividad comercial se usará el perfil correspondiente a los domingos y en el caso de que haya actividad comercial el de los sábados.

En las figuras 1 a 8 se muestran los perfiles de consumo de cada una de las clases para los distintos periodos estacionales definidos y tipos de días. Las leyendas en cada gráfica significan:

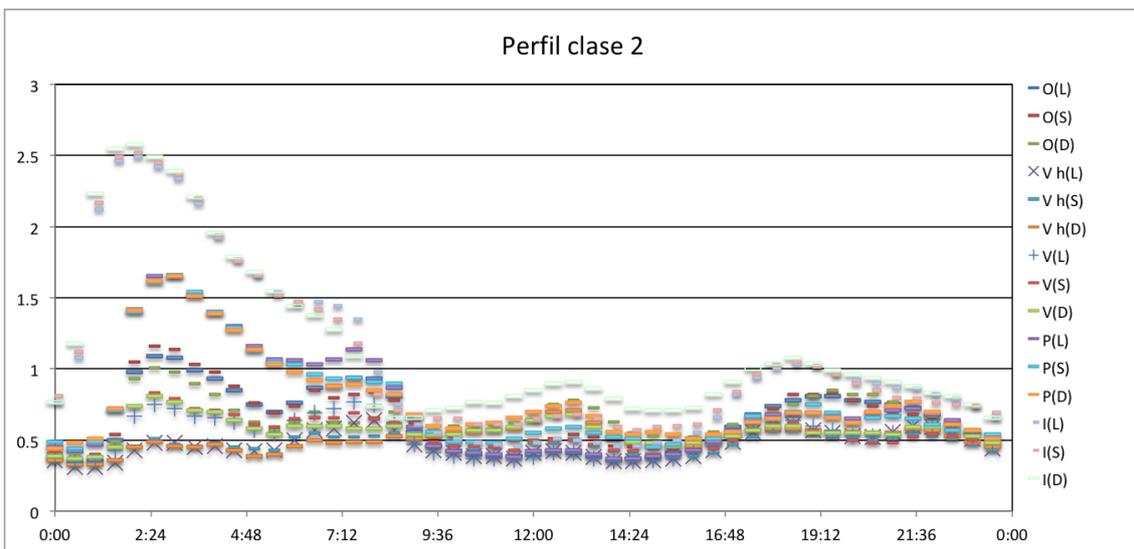
O: otoño, V: verano, V h: verano alto, P: primavera, I: invierno

L: días laborables (de lunes a viernes), S: sábado, D: domingo



*Figura 1. Perfiles de consumo para clase 1.*

Los perfiles de consumo de la clase 1 corresponden a consumos que se realizan tanto en las horas que hay sol como a consumos nocturnos. Se pueden considerar, por tanto, consumos típicos de una vivienda residencial.



*Figura 2. Perfiles de consumo para la clase 2.*

Los perfiles de la clase 2 tienen picos de consumo nocturnos y una distribución similar durante el resto del día, con algún pico de consumo en las horas de la tarde.

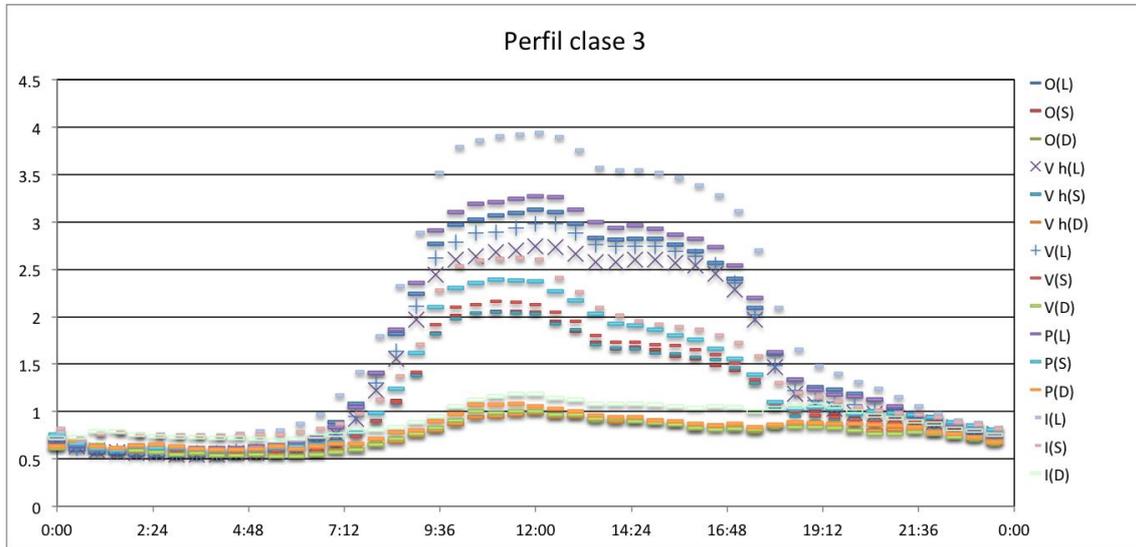


Figura 3. Perfiles de consumo para la clase 3.

Los perfiles de consumo de la clase 3 son principalmente consumos diurnos, aunque también hay un fondo de consumo durante todo el día de unos 700 W de pico, por lo que se puede suponer que pueden corresponder a algún establecimiento de tipo comercial.

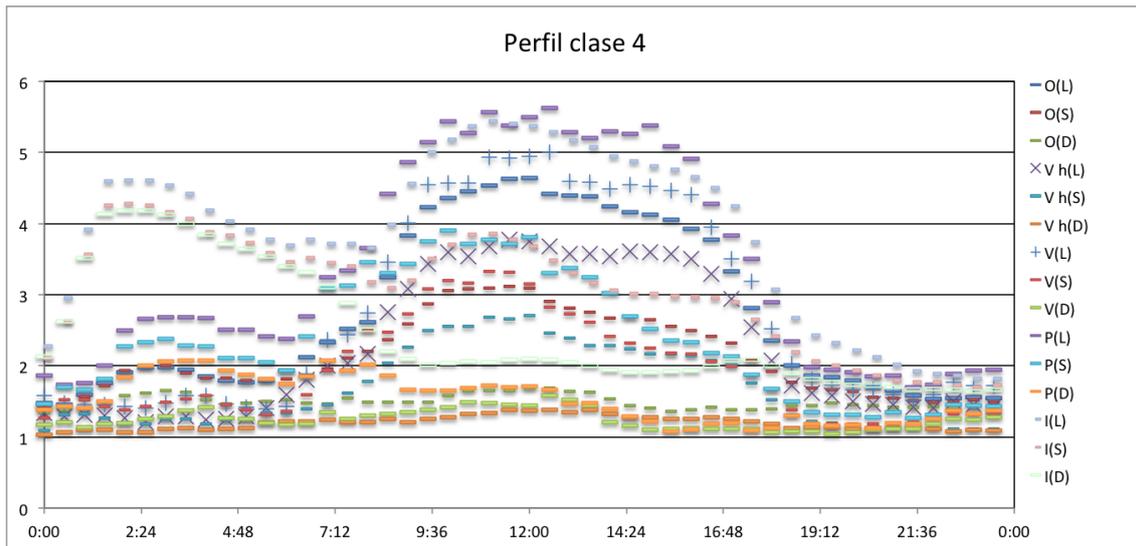
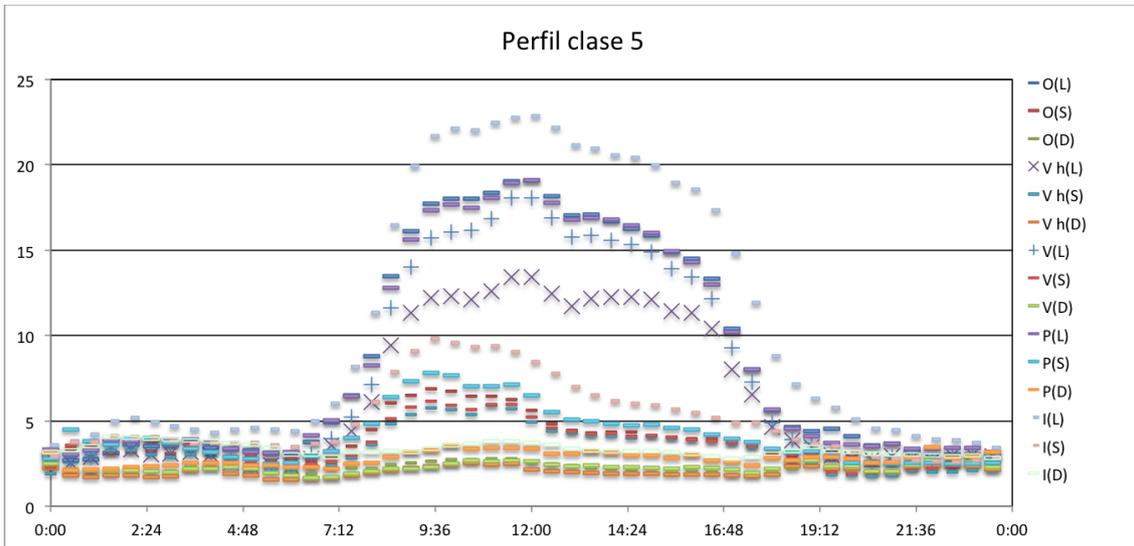


Figura 4. Perfiles de consumo para la clase 4.

Los perfiles de consumo de la clase 4 corresponden a consumos diarios y también con algunos picos de consumo a partir de la media noche, habiendo también siempre un fondo de consumo que varía entre 1 y 2 kW pico.



*Figura 5. Perfiles de consumo para la clase 5.*

Los perfiles de consumo de la clase 5 corresponden a consumos diurnos, pero con un fondo constante de entre 2 y 5 kW de pico, por lo que puede suponerse que corresponde a algún tipo de centro comercial que tiene aparatos conectados todo el día (podrían corresponder a congeladores u otro tipo de consumo industrial). Se trata de grandes consumidores. Los consumos de verano e invierno también se diferencian notablemente.

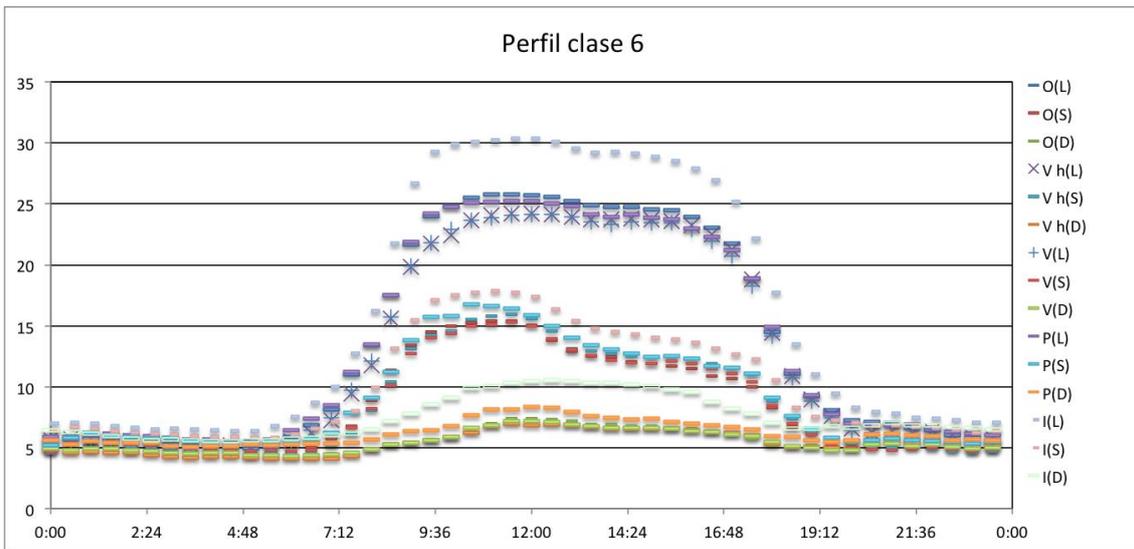


Figura 6. Perfiles de consumo para clase 6.

Al igual que los perfiles de consumo de la clase 5, los perfiles de consumo de la clase 6 tienen siempre un fondo de consumo superior a 5 kW de pico y consumos mucho más altos en las horas diurnas por lo que también se pueden asociar a consumos de una gran superficie con necesidades nocturnas.

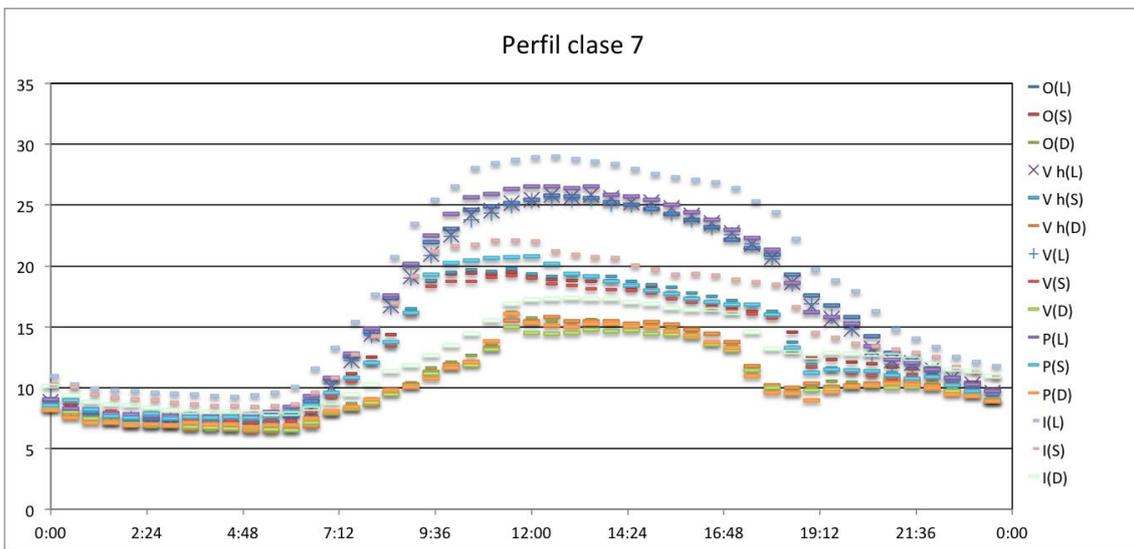


Figura 7. Perfiles de consumo para clase 7.

Estos perfiles de consumo son similares a los de la clase 6 excepto porque los domingos también hay consumo. Podría corresponder al mismo tipo de consumidor pero con actividad los domingos.

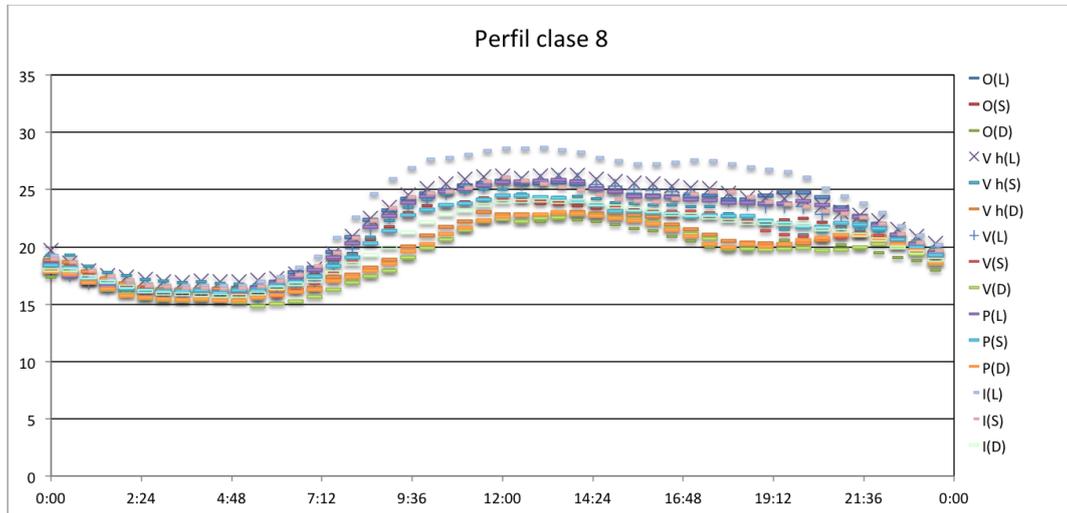


Figura 8. Perfiles de consumo para la clase 8.

Los perfiles de consumo de la clase 8 corresponden a grandes consumidores que mantienen un alto consumo energético tanto de día como de noche, aunque durante el día se hacen un poco más altos.

En la tabla 1 se muestran los valores diarios de cada clase de perfil para cada tipo de día y estación.

Estación (tipo día)	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5	Clase 6	Clase 7	Clase 8
O(L)	19.8	30.7	76.6	131.4	414.4	656.9	766.3	1040.8
O(S)	20.3	31.9	54.4	102.1	184.0	405.4	628.8	990.1
O(D)	21.4	31.8	36.4	71.7	114.7	265.3	508.6	910.9
V h(L)	17.7	22.4	69.9	108.8	309.4	624.8	757.4	1061.5
V h(S)	17.7	22.6	53.9	80.8	160.8	407.3	626.0	1011.2
V h(D)	19.0	24.4	36.3	57.6	97.5	258.0	505.6	948.4
V(L)	17.7	25.1	73.5	133.2	373.5	618.0	753.2	1024.8
V(S)	18.3	26.0	55.6	92.3	172.9	400.7	611.3	979.1
V(D)	19.4	27.3	36.2	59.8	108.9	262.3	492.3	912.6
P(L)	19.5	35.4	79.9	162.6	413.5	657.1	782.5	1029.7
P(S)	20.4	36.2	60.0	113.7	199.7	438.0	630.8	989.6
P(D)	21.4	37.5	38.6	73.7	134.1	298.7	498.6	925.9
I(L)	24.6	50.7	96.2	184.9	526.8	782.1	895.9	1120.0
I(S)	25.1	52.2	65.8	146.4	242.6	487.2	712.7	1038.9
I(D)	26.9	55.2	44.1	118.5	160.1	360.7	591.0	972.2

Tabla 1. Valores medios de consumo diario (kWh) para cada tipo de perfil diario (L: laborables, S: sábado, D: domingo) y para cada estación definida (O: otoño, V h: verano muy caluroso, P: primavera, I: invierno).

A partir de estos perfiles, se han calculado los valores medios diarios de consumo de cada clase, teniendo en cuenta el número de días que hay de cada tipo. Los valores obtenidos para las clases 5 a 8 son superiores a 300 kWh al día por lo que no se van a utilizar en este estudio ya que este tipo de instalaciones queda fuera del objeto de estudio de este proyecto, por lo que se han descartado para su análisis. Para las otras cuatro clases de perfiles de consumo, los valores de consumo medio diario obtenido son: 20.7, 36.0, 72.1 y 137.1 kWh para las clases 1, 2, 3 y 4. Para los perfiles de estas cuatro clases se estimarán los factores de autosuficiencia y autoconsumo para distintos tamaños de instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo.

Como se ha comentado, los perfiles de clase 1 se pueden asociar a consumos residenciales (o domésticos), los de la clase 2 a centros con consumo principalmente nocturno, los de la clase 3 a diurnos que se pueden asociar a algún tipo de actividad comercial (en la que hay también un fondo de consumo por la noche) y los de clase 4 similares a los de clase 3 pero con algunos consumos también en las primeras horas del día (antes del amanecer).

## Disponibilidad energética en varias zonas climáticas de la Unión Europea

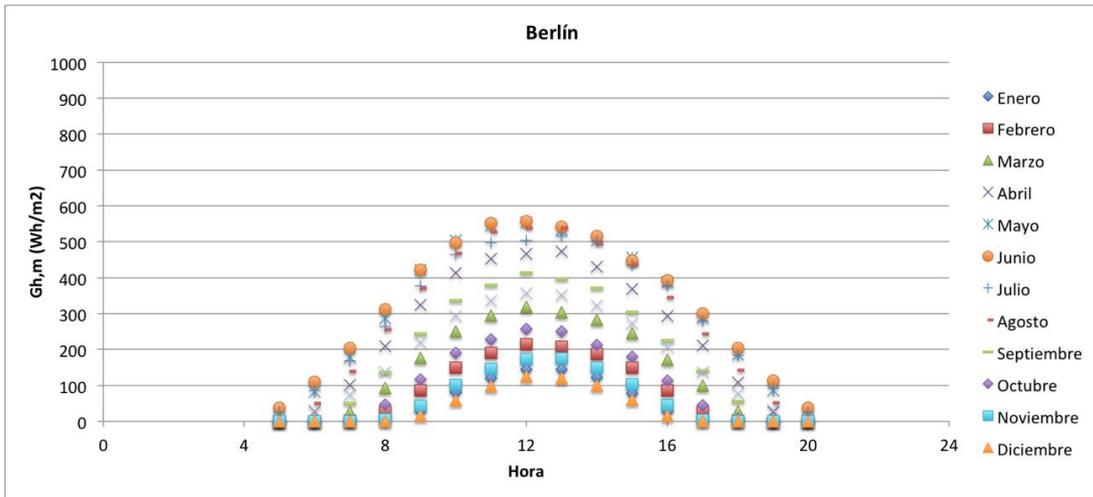
En la primera fase de este estudio se han seleccionado 4 localidades europeas como prototipo de cara a probar la validez de la metodología propuesta y a extraer las primeras conclusiones respecto al diseño y funcionamiento de instalaciones de autoconsumo en distintos emplazamientos y con distintos perfiles de consumo.

Las localidades con las que se ha hecho el estudio son Madrid, París, Roma y Berlín. Cada una de ellas presenta valores de disponibilidad energética distinta. Los datos se han obtenido de la página web del “Photovoltaic Geographical Information System” (PVGIS) de la Comisión Europea ([http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html)). Se han utilizado un total de 7 años para todas las localidades, desde 2010 a 2016. Los valores utilizados son los de temperatura ambiente y los de radiación global horaria sobre superficie inclinada a una inclinación óptima para cada localidad (aquella en la que la instalación produce la máxima energía). En la tabla 2 se muestran algunos parámetros representativos de cada una de estas localidades.

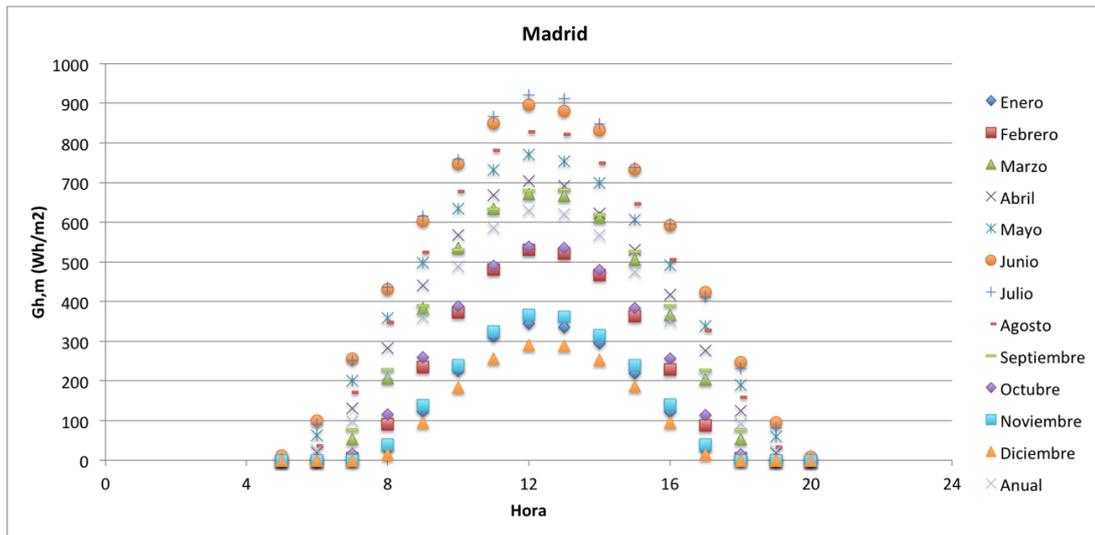
Localidad	Latitud	Longitud	Altura	Inclinación óptima	Gdm, opt
Berlín	52.517	13.389	44	38	2.90
Madrid	40.417	-3.704	665	35	4.35
París	48.857	2.351	30	35	3.11
Roma	41.893	12.483	42	35	4.01

*Tabla 2. Datos de las localidades seleccionadas para el estudio.*

Los valores medios de la radiación global diaria sobre superficie horizontal para cada una de estas localidades se muestran en las gráficas 9 a 12.



**Figura 9.** Valores medios mensuales de radiación global horaria sobre superficie horizontal para Berlín.



**Figura 10.** Valores medios mensuales de radiación global horaria sobre superficie horizontal para Madrid.

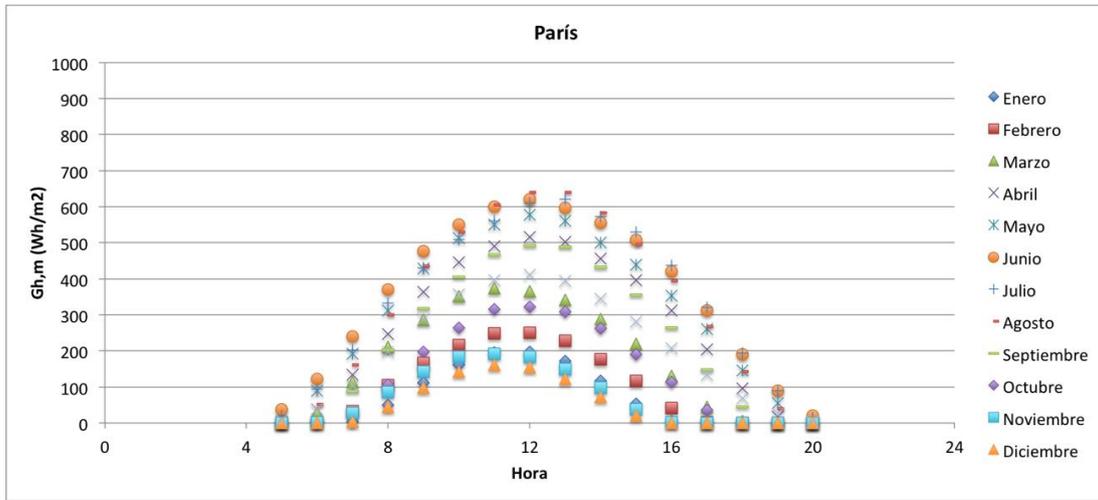


Figura 11. Valores medios mensuales de radiación global horaria sobre superficie horizontal para París.

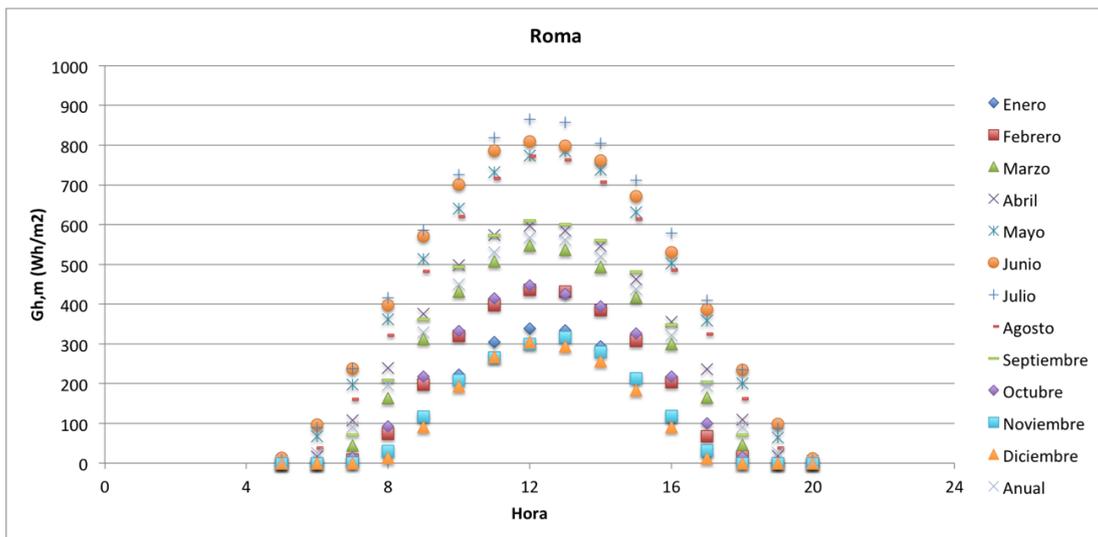
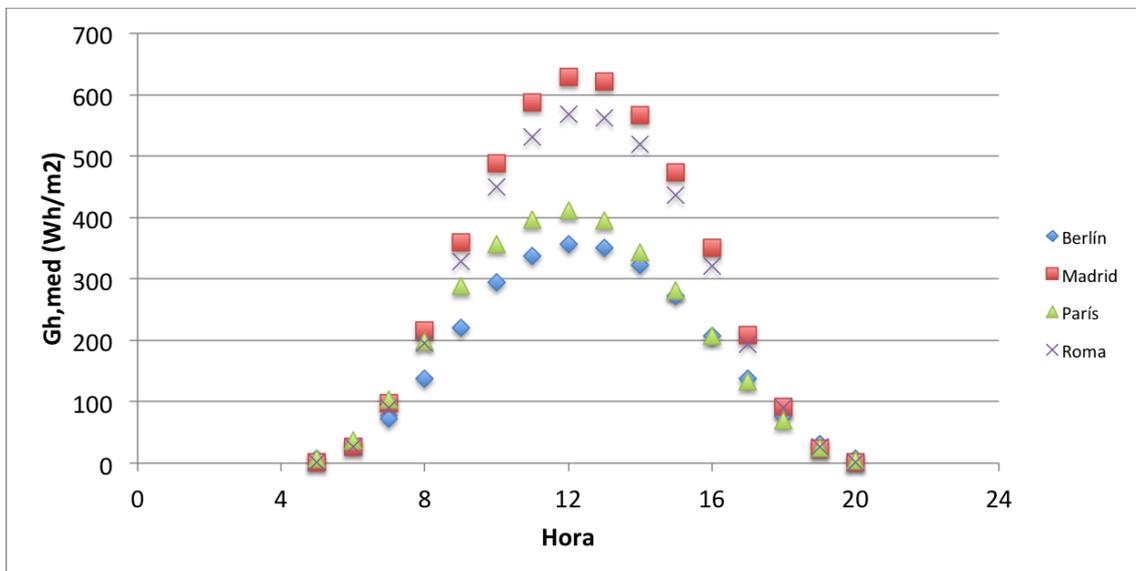


Figura 12. Valores medios mensuales de radiación global horaria sobre superficie horizontal para Roma.

En la tabla 3 y en la figura 13 se muestran los valores medios anuales de radiación global horario sobre superficie horizontal para las cuatro localidades seleccionadas.

Hora	Berlín	Madrid	París	Roma
5	7	2	7	2
6	30	26	37	26
7	73	98	103	90
8	137	216	198	196
9	220	360	288	329
10	294	489	357	450
11	337	587	397	531
12	356	629	412	568
13	351	621	395	562
14	323	567	344	519
15	273	474	281	437
16	207	351	207	321
17	137	208	133	194
18	77	92	69	91
19	31	24	25	26
20	7	1	4	2

*Tabla 3. Valores medios mensuales de radiación global horaria (Wh/m<sup>2</sup>) sobre superficie horizontal para las cuatro localidades seleccionadas.*



*Figura 13. Valores medios mensuales de radiación global horaria (Wh/m<sup>2</sup>) sobre superficie horizontal para las cuatro localidades seleccionadas.*

## Resultados: factores de autoconsumo y autosuficiencia en instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo

Para determinar los rangos de potencias pico de instalación que se analizarán para cada clase de perfil de consumo se partirá del tamaño de instalación con el que se consigue que la energía que se genera por la instalación en un año medio sea similar a la energía total consumida para un año para cada localidad de las seleccionadas.

Para estimar este tamaño se han hecho un programa que mediante una serie de iteraciones recalcula el tamaño de la instalación fotovoltaica hasta conseguir un tamaño de instalación que cumpla que la energía que genera es igual a la que se consume (con diferencias inferiores al 0.01 %, lo que supone menos de 1 kWh para todo consumo anual en instalaciones con consumos medios diarios inferiores a 50 kWh y menos de 2 kWh para instalaciones con consumos medios diarios superiores a este valor).

A partir de estos tamaños se han analizado distintos valores de potencia pico, de manera que se puedan analizar las curvas de autoconsumo y autosuficiencia para cada supuesto.

En la tabla 4 se muestra la potencia pico calculada que es necesario instalar para cada clase de perfiles y para cada localidad de manera que la energía total que se produce en un año sea similar a la que se consume (con una diferencia anual total inferior a 1kWh para los perfiles de clase 1 y 2, y a 2 kWh para los de clase 3 y 4).

Localidad	Gdm	Perfiles 1	Perfiles 2	Perfiles 3	Perfiles 4
Berlín	2.9	7.2	12.4	24.9	47.3
Madrid	4.35	4.8	8.3	16.5	31.5
París	3.11	6.7	11.5	23.1	44
Roma	4.09	5.1	8.8	17.6	33.5

*Tabla 4. Potencias pico necesarias para que la energía total producida por el sistema FV en un año sea similar a la consumida en ese periodo (con una diferencia menor que 1kWh), para cada clase de perfiles y para cada localidad.*

A partir de esta información, se han determinado los tamaños de instalación para los que se va a hacer el estudio para cada una de las clases de perfiles. En la tabla 5 se muestra el tamaño mínimo que se ha analizado, las variaciones a partir de este tamaño que se han utilizado (columna cambio) y el tamaño máximo estudiado.

Tipo	Inicial	Final	Cambio
Perfiles 1	3	14	0.5
Perfiles 2	4	20	1
Perfiles 3	5	40	2.5
Perfiles 4	10	70	5

Tabla 5. Descripción de las potencias pico analizadas (kW) para cada clase de perfiles.

### Resultados para la clase de perfiles 1.

En las figuras 14 a 17 se muestran los resultados obtenidos para los valores de autoconsumo y autosuficiencia para cada una de las localidades analizadas y los distintos tamaños de instalación considerados para las clase de perfiles 1, según los valores de la tabla 5. Los perfiles de consumo de esta clase pueden asociarse a los perfiles de consumo de una vivienda residencial o uso doméstico, con un consumo diurno y en las primeras horas de la noche.

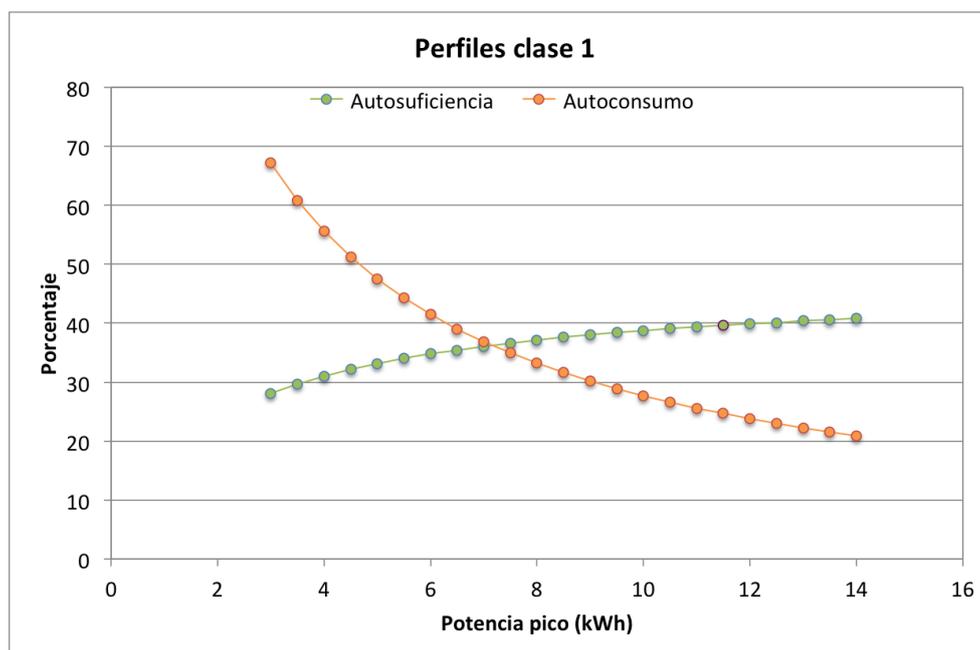
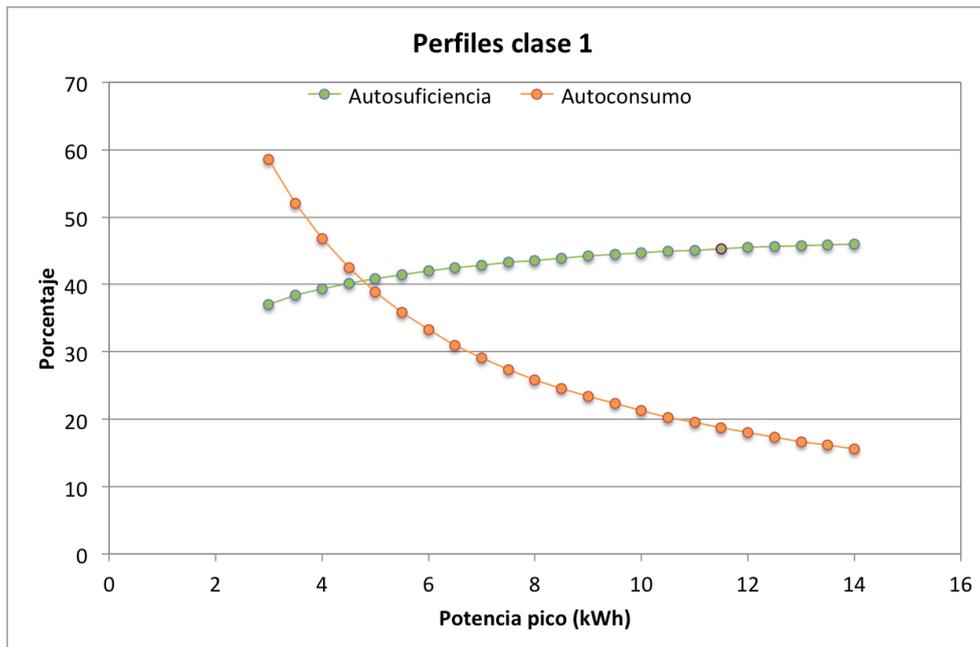
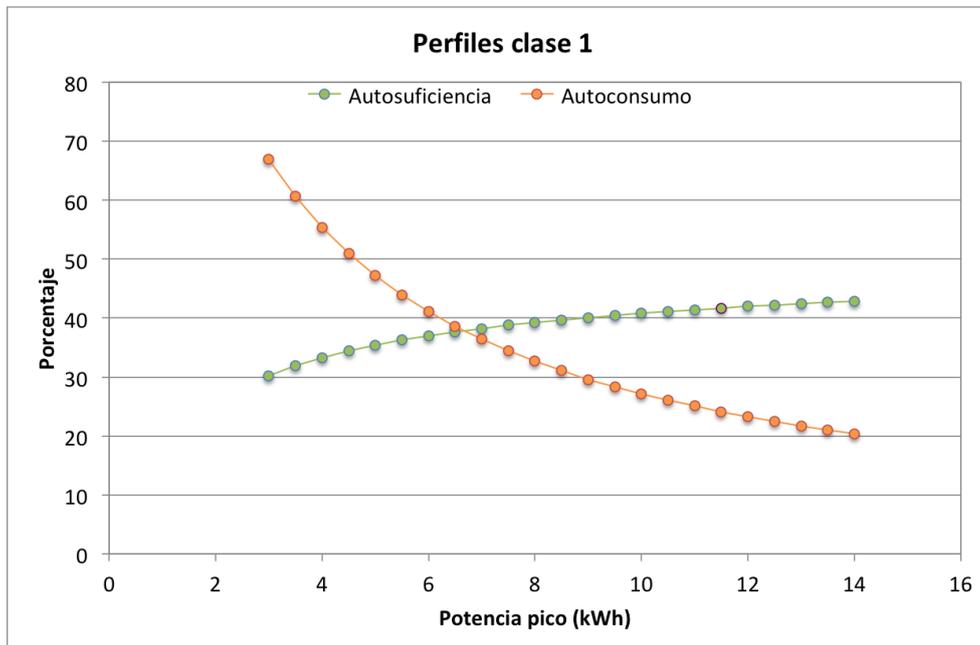


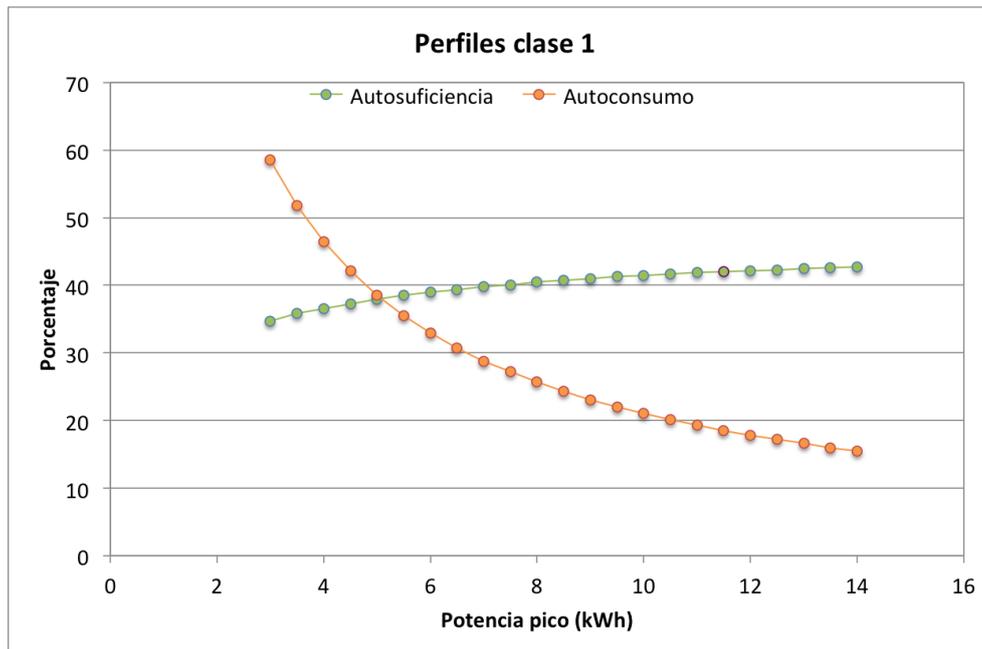
Figura 14. Valores de autosuficiencia y autoconsumo para Berlín para distintos tipos de tamaños de instalación para los perfiles de la clase 1.



**Figura 15.** *Va lores de autosuficiencia y autoconsumo para Madrid para distintos tamaños de instalación para los perfiles de clase 1.*



**Figura 16.** *V alores de autosuficiencia y autoconsumo para París para distintos tamaños de instalación para los perfiles de clase 1.*



**Figura 17.** *V* valores de autosuficiencia y autoconsumo para Roma para distintos tamaños de instalación para los perfiles de clase 1.

En la ciudad de Berlín, para alcanzar una autosuficiencia y un autoconsumo del 36 % es necesaria una instalación con una potencia pico de unos 7 kWh. En este punto es cuando la producción fotovoltaica iguala al consumo, para el periodo de 7 años analizado.; en esta ciudad conseguir de autosuficiencia de un 40 % supone casi duplicar el tamaño de la instalación (12 kWh) y tener un autoconsumo del 23 %, por lo que ese incremento del 4 % no justificaría, desde el punto de vista económico, el tamaño de instalación necesario, excepto si las condiciones legislativas de venta de los excedentes de energía (la producida por la instalación pero no consumida) son favorables.

En la ciudad de Madrid, se puede conseguir una autosuficiencia del 37 % para un tamaño de instalación de 3 kWh (menos de la mitad que el requerido para Berlín). En este caso, el porcentaje de autoconsumo es de un 59%. Para esta localidad, se puede alcanzar una autosuficiencia y un autoconsumo algo superiores al 40 % con una instalación de 4.5 kWh. Para una instalación de 7 kWh el valor de autosuficiencia sube hasta un 43% y el autoconsumo baja al 29 %. A partir de este valor de potencia pico, incrementar la autosuficiencia es cada vez más costoso en términos relativos por lo que se considera que este tamaño de instalación representa un compromiso razonable entre valores de autoconsumo y autosuficiencia respecto al tamaño de la instalación.

En la ciudad de París, con una instalación de 3 kWh se consiguen porcentajes de autosuficiencia cercanos al 30 % y de autoconsumo del 67 %. La potencia en la que la producción fotovoltaica igual al consumo para el periodo de análisis es ligeramente superior a 6.5 kWh; para esta potencia pico los valores de autoconsumo y autosuficiencia son aproximadamente iguales al 38 %. Para conseguir un porcentaje de autosuficiencia del 40 % y autoconsumo del 30 % el tamaño de la instalación es de 9 kWh. A partir de este valor, incrementar los porcentajes de autosuficiencia empieza a ser cada vez más costoso por lo que éste podría considerarse también un tamaño razonable para conseguir un buen compromiso entre autoconsumo y autosuficiencia.

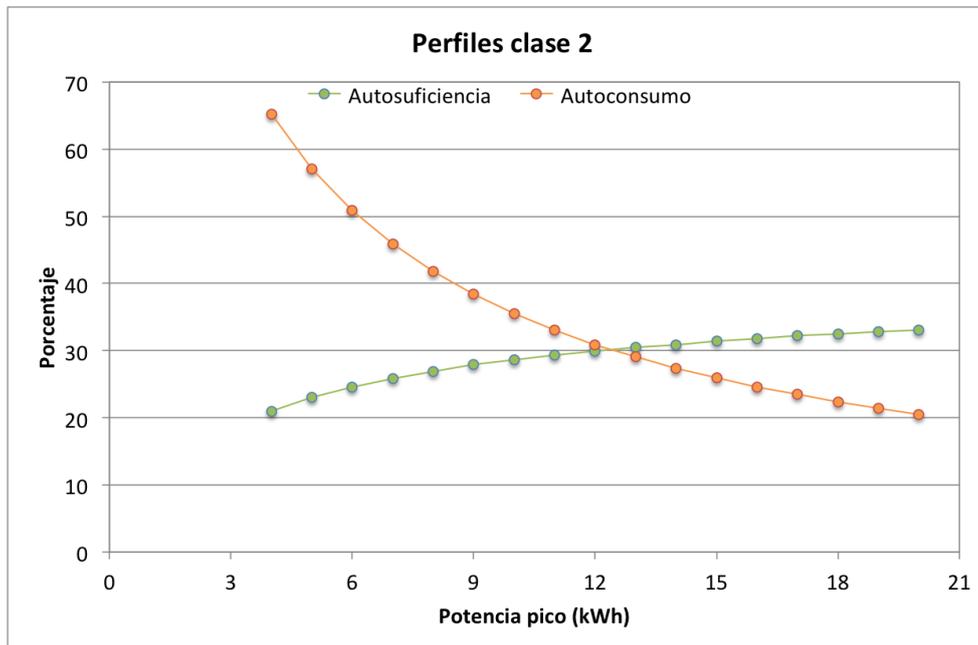
Por último, en la ciudad de Roma con un tamaño de instalación de 3 kWh se consiguen porcentajes de autosuficiencia del 35 % y de autoconsumo del 59 %. Los valores de autoconsumo y autosuficiencia son similares para una potencia pico de 5 kWh, potencia para la que ambos alcanzan un valor en torno al 37 %. Para alcanzar porcentajes de autosuficiencia del 40 % es necesario un tamaño de instalación de 7.5 kWh lo que hace que el porcentaje de autoconsumo descienda significativamente, hasta un 27 %. En esta localidad, este sería el tamaño mayor que mantiene un buen compromiso entre el tamaño de la instalación y los valores de autoconsumo y autosuficiencia.

Como resumen de los resultados obtenidos, los tamaños de instalación necesarios para conseguir porcentajes de autosuficiencia del 35 % varían desde 3 a 6 kWh dependiendo del emplazamiento. A estos valores de potencia pico corresponden, respectivamente, porcentajes de autosuficiencia del 60 al 42 %. Para alcanzar porcentajes de autosuficiencia del 40 % los valores de potencia pico de instalación necesarios varían entre 4.5 y 12 kWh, y a estos tamaños de instalación les corresponden unos porcentajes de autoconsumo que varían entre 43 al 24 %, respectivamente.

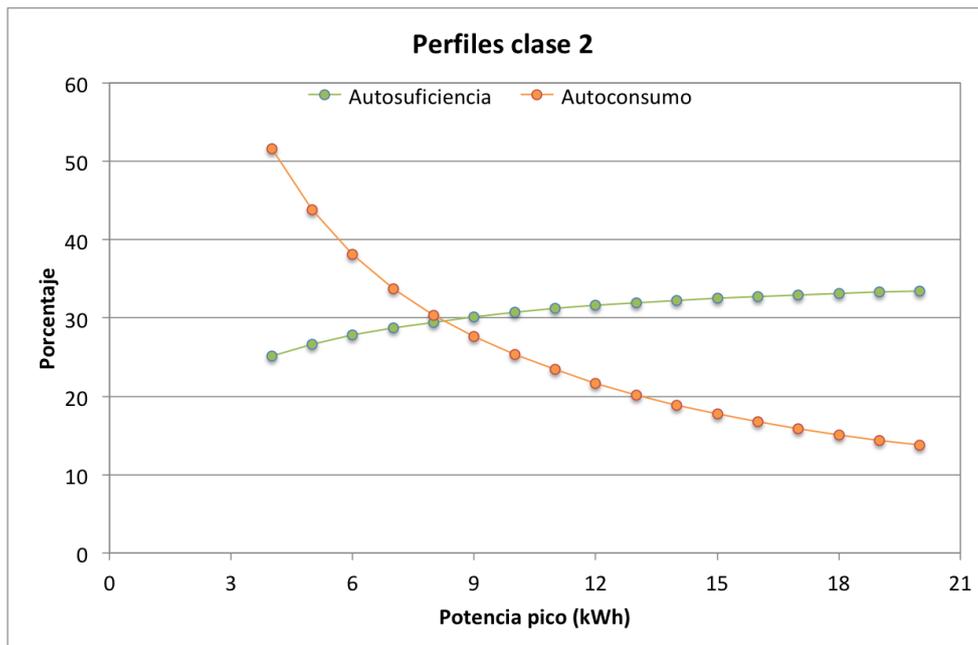
### Resultados para la clase de perfiles 2.

En las figuras 18 a 21 se muestran los resultados obtenidos para los valores de autoconsumo y autosuficiencia para cada una de las localidades analizadas y los distintos tamaños de instalación considerados para las clases de perfiles 2, según los valores de la tabla 5. Los perfiles de esta clase tienen picos de consumo nocturnos y una distribución similar durante el resto del día, con algún pico de consumo en las horas de la tarde.

---



**Figura 18.** V alores de autosuficiencia y autoconsumo para Berlín para distintos tamaños de instalación para los perfiles de clase 2.



**Figura 19.** V alores de autosuficiencia y autoconsumo para Madrid para distintos tamaños de instalación para los perfiles de clase 2.

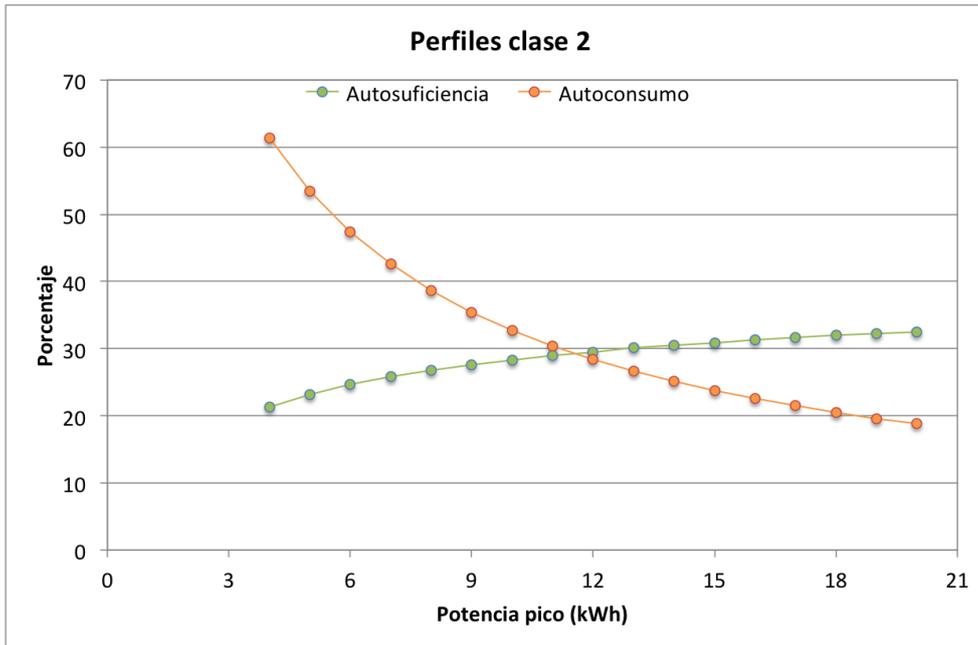


Figura 20. V alores de autosuficiencia y autoconsumo para París para distintos tamaños de instalación para los perfiles de clase 2.

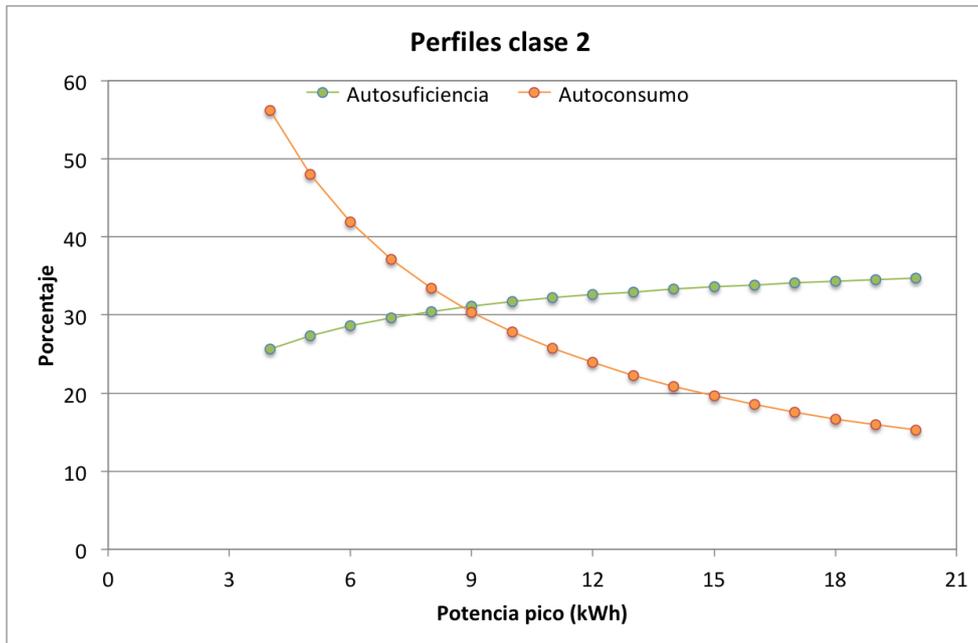


Figura 21. V alores de autosuficiencia y autoconsumo para Roma para distintos tamaños de instalación para los perfiles de clase 2.

En la ciudad de Berlín, los valores de autosuficiencia, para las potencia pico analizadas, varían entre un 21 y un 33 %, mientras que la autosuficiencia pasa de un 65 a un 21 %. Como puede observarse en la figura 18, la curva de autosuficiencia se satura muy pronto. La potencia pico a la que se igualan estos porcentajes es algo superior a 12 kW y el valor de estos parámetros es del orden del 30 %.

En la ciudad de Madrid los valores de autosuficiencia varían entre un 25 y un 33 % y los de autoconsumo pasan de un 52 a un 14 %. En este caso, aumentar la potencia pico de la instalación es, desde el punto de vista de la energía que se aprovecha, mucho más ineficiente que en el caso de Berlín. Esto es debido a que, como se ha comentado, la mayoría de los consumos son nocturnos y el que se produzca más energía lo que hace es que baje el porcentaje de autoconsumo. Así, para aumentar porcentualmente 8 puntos la autosuficiencia es necesario multiplicar la potencia pico por 5 (de 4 a 20 kW), por lo que el autoconsumo se reduce a un 14%.

En la ciudad de París, los valores de autosuficiencia varían entre un 21 y un 33 % y los de autoconsumo entre un 61 y un 19 %, conforme se aumenta la potencia pico de 4 a 20 kW. Los valores de autosuficiencia son similares a los de Berlín y los de autoconsumo ligeramente más bajos. Como en el resto de ciudades, ir aumentando la potencia de la instalación hace que la autosuficiencia sólo mejore muy ligeramente respecto al aumento de potencia.

En la ciudad de Roma, por su parte, los valores de autosuficiencia varían entre un 26 y un 35 % y los de autoconsumo entre un 56 y un 15 % al ir aumentando la potencia pico instalada. La potencia a la que estos porcentajes se igualan es algo superior a los 8 kW, y a esa potencia le corresponden unos valores de autosuficiencia y autoconsumo un poco por encima del 30 %. Estos valores son similares a los obtenidos para la localidad de Madrid, aunque los valores de autoconsumo son ligeramente mayores.

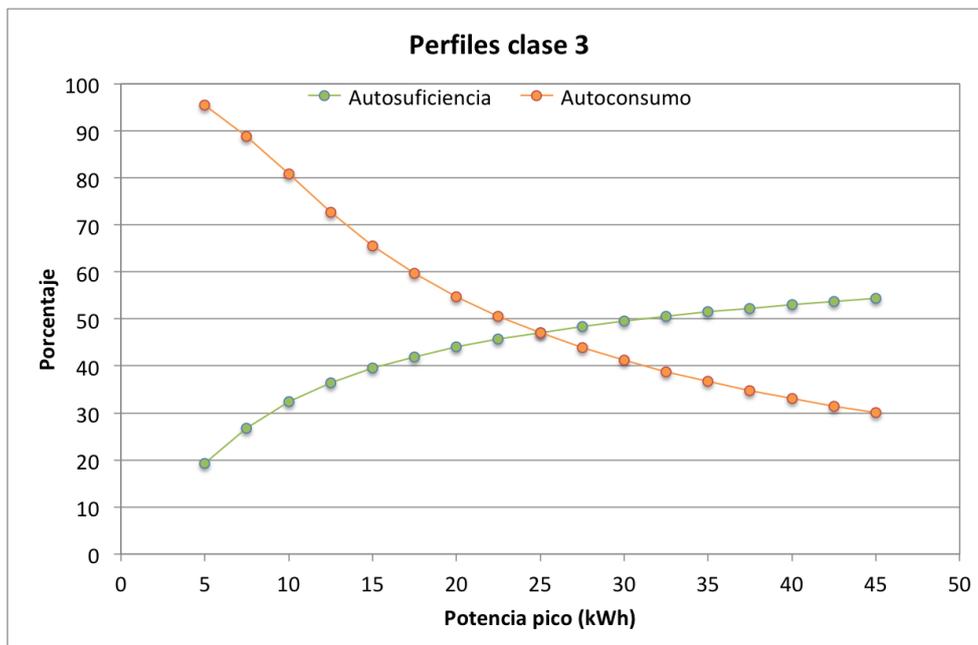
Como conclusión de los resultados obtenidos para los perfiles de la clase 2, en la que hay mucho consumo nocturno, indican que, para este tipo de instalaciones, en todas las localidades es muy costoso, desde el punto de vista del tamaño de la instalación que se requeriría, tener valores de autosuficiencia superiores al 35 %, al producirse el autoconsumo en horas sin sol. Como era de esperar, la recomendación para el tamaño de instalaciones de este tipo debe diseñarse para suministrar únicamente los valores de consumo diurno independientemente del consumo total de la instalación, en el caso de que la normativa no permita compensar la energía vertida a la red.

---

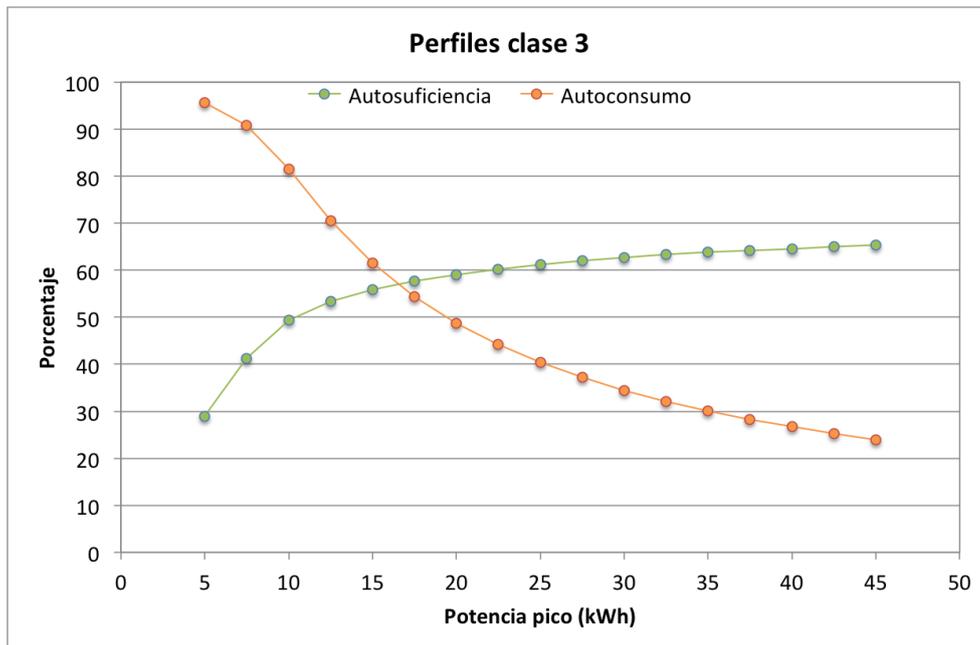
### Resultados para la clase de perfiles 3.

En las figuras 22 a 25 se muestran los resultados obtenidos para los valores de autoconsumo y autosuficiencia para cada una de las localidades analizadas y los distintos tamaños de instalación considerados para las clases de perfiles 3, según los valores de la tabla 5.

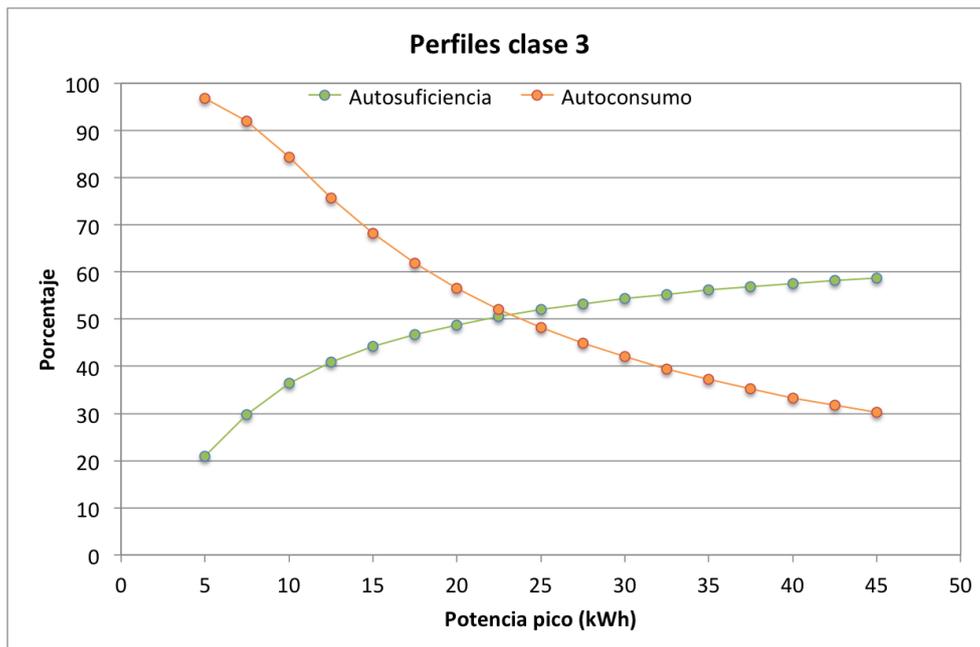
Los perfiles de consumo de la clase 3 son principalmente consumos diurnos aunque también hay un fondo de consumo durante todo el día de unos 700 W de pico, por lo que se puede suponer que pueden corresponder a algún establecimiento de tipo comercial.



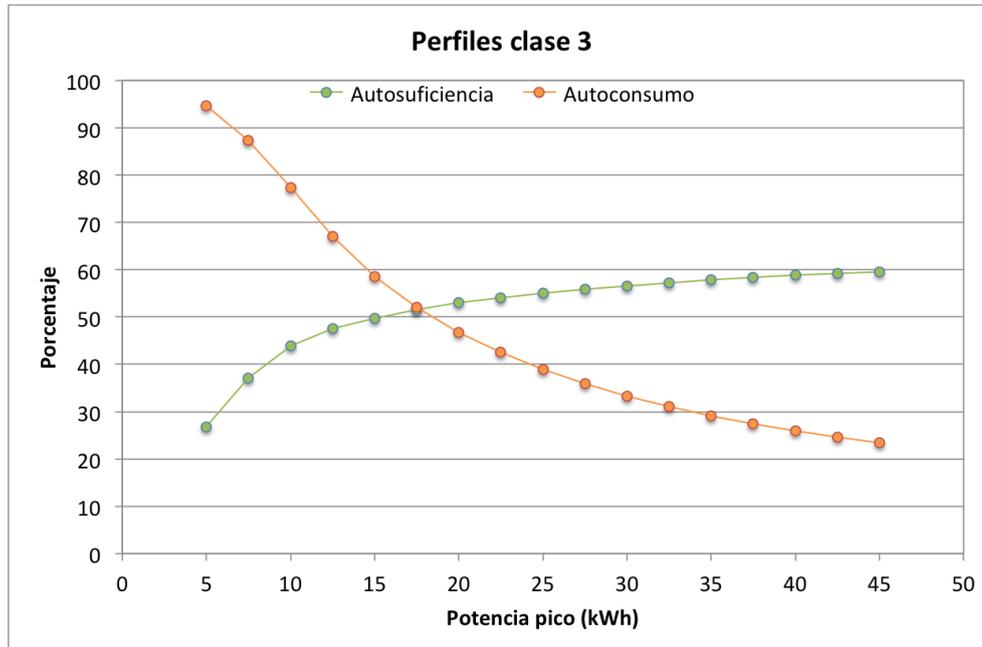
**Figura 22.** Valores de autosuficiencia y autoconsumo para Berlín para distintos tamaños de instalación para los perfiles de clase 3.



*Figura 23.V* valores de autosuficiencia y autoconsumo para Madrid distintos tamaños de instalación para los perfiles de clase 3.



*Figura 24.V* valores de autosuficiencia y autoconsumo para París distintos tamaños de instalación para los perfiles de clase 3.



**Figura 25.** *V alores de autosuficiencia y autoconsumo para Roma distintos tamaños de instalación para los perfiles de clase 3.*

En la localidad de Berlín, los valores de autosuficiencia varían entre un 19 y un 54 % al ir aumentado la potencia pico instalada de 5 a 45 kW, mientras que los de autoconsumo bajan de un 96 a un 30 por ciento. Para esta localidad y este tipo de perfiles de consumo, se puede llegar a un autoconsumo cercano al 40 % con potencias pico de unos 15 kW. Aún así, la curva de autosuficiencia no satura tan rápido como en los perfiles de las clases previas analizadas. Esto es, fundamentalmente, porque, como se ha comentado, en esta clase de perfiles de consumo principalmente hay consumos diurnos (con un fondo nocturno no muy elevado). Los valores de autoconsumo y autosuficiencia son similares y alcanzan un valor de 47 % para una potencia pico de 25 kWh.

En la localidad de Madrid, los valores de autosuficiencia varían entre un 29 y un 65 % y los de autoconsumo varían entre algo más de un 96 % hasta un 24 %. En este caso, la curva de autosuficiencia tiene una pendiente menor que en el caso de Berlín. Para esta localidad con una instalación de unos 10 kW se consiguen valores de autosuficiencia cercanos al 50 % y de autoconsumo de un 82 %; con esta potencia se consigue un buen compromiso entre los valores de autosuficiencia y autoconsumo. Los valores de

autoconsumo y autosuficiencia son similares para una potencia pico de nos 16 kWh y el valor que alcanzan es cercano al 57 %.

En la localidad de París, los valores de autosuficiencia varían entre un 21 y un 59 % y los valores de autoconsumo varían entre un 97 y un 30 %. Son similares a los de Berlín, aunque algo superiores en cuanto a autosuficiencia. A la potencia pico de 23 kWh los valores de autoconsumo y autosuficiencia son similares y alcanzan un valor aproximado del 51 %.

Por último, en la localidad de Roma, los valores de autosuficiencia varían entre un 27 y un 95 % mientras que los valores de autoconsumo bajan desde un 95 a un 23 %. Los valores de autoconsumo son muy similares y su curva de cambio a los de la localidad de Madrid. Los de autosuficiencia son un poco más bajos, debido a la menor producción de una instalación en este emplazamiento respecto a una emplazada en Madrid. Ambos parámetros alcanzan un valor del 52 % para una potencia cercana a los 17 kWh.

Como conclusión general para todas las localidades analizadas, para el tamaño menor de instalación analizada, 5 kW, los valores de autoconsumo son superiores al 95 %, es decir, se consigue que casi toda la energía generada sea consumida por la propia instalación, esto es porque el tamaño de instalación es pequeño en relación con el consumo total pero también porque la mayoría de los consumos se realizan cuando hay producción fotovoltaica.

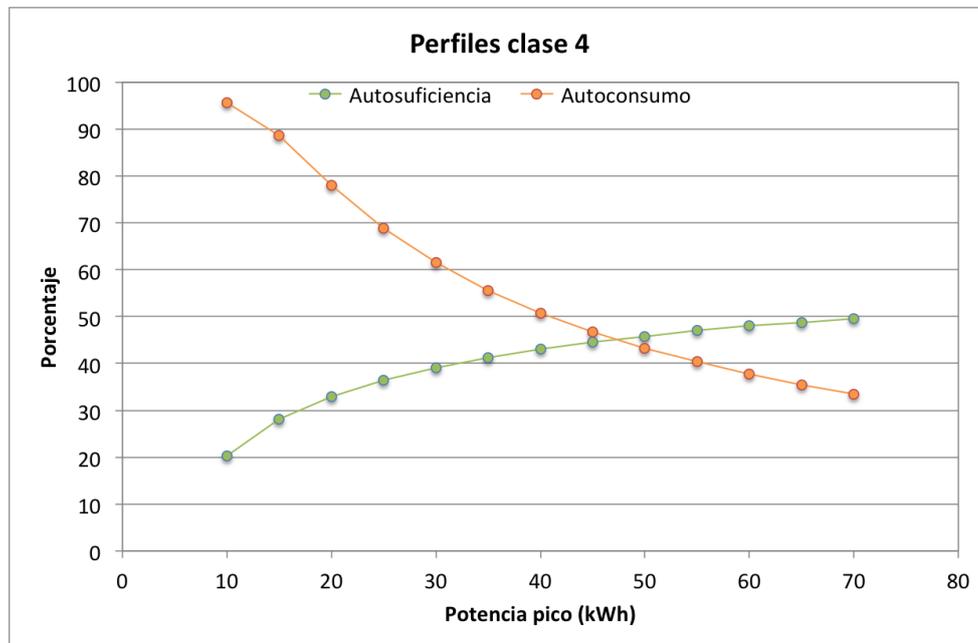
Aumentando el tamaño de la instalación, para cada emplazamiento de manera que la energía producida sea similar a la autoconsumida, los valores de potencia pico necesarios 25 kW en Berlín con valores de un 47 % para ambos factores, para Madrid un tamaño de 16.5 kW haría que se alcanzaran valores de autoconsumo y autosuficiencia de un 57 %, mientras que en París con 23 kW y en Roma con 17 kW se alcanzarían unos valores de autosuficiencia y autoconsumo de un 52 y un 53 %, respectivamente.

---

### Resultados para la clase de perfiles 4.

En las figuras 26 a 29 se muestran los resultados obtenidos para los valores de autoconsumo y autosuficiencia para cada una de las localidades analizadas y los distintos tamaños de instalación considerados para las clases de perfiles 4, según los valores de la tabla 5.

Los perfiles de consumo de la clase 4 corresponden a consumos diarios y también con algunos picos de consumo a partir de la media noche, habiendo también siempre un fondo de consumo cuya potencia varía entre 1 y 2 kW pico.



**Figura 26.** Valores de autosuficiencia y autoconsumo para Berlín distintos tamaños de instalación para los perfiles de clase 4.

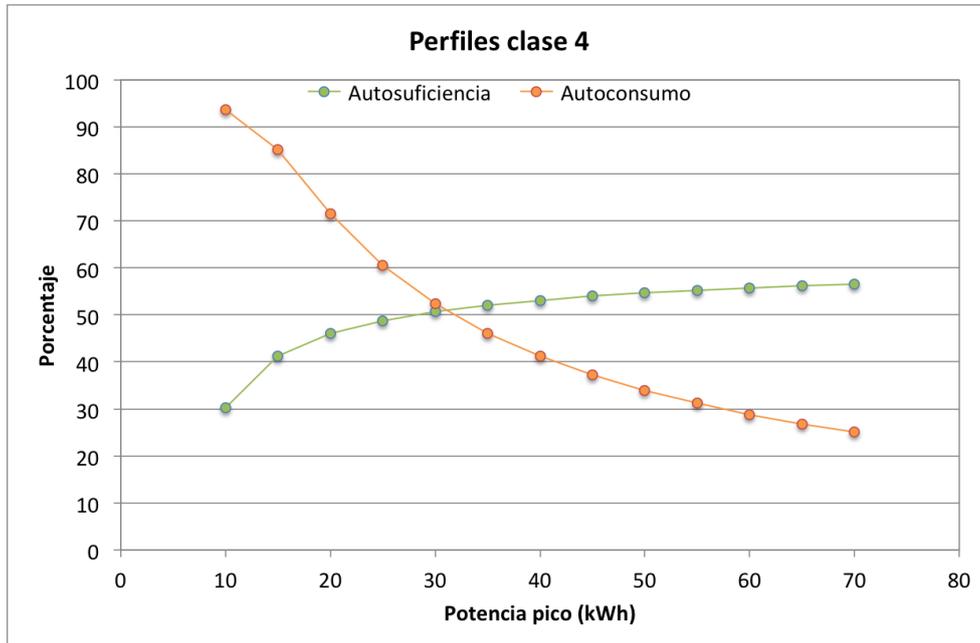


Figura 27. Valores de autosuficiencia y autoconsumo para Madrid distintos tamaños de instalación para los perfiles de clase 4.

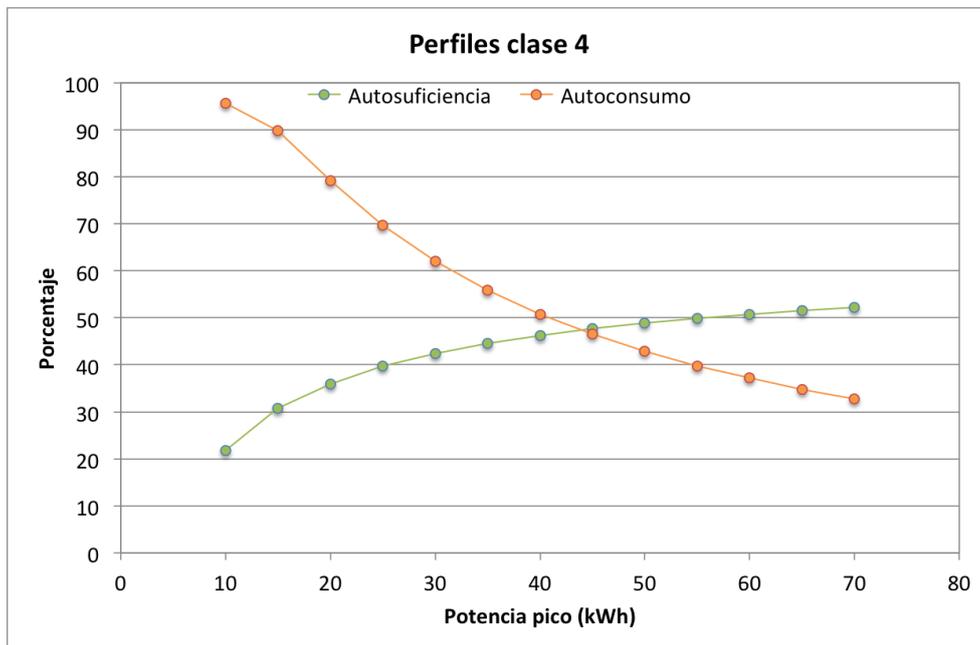
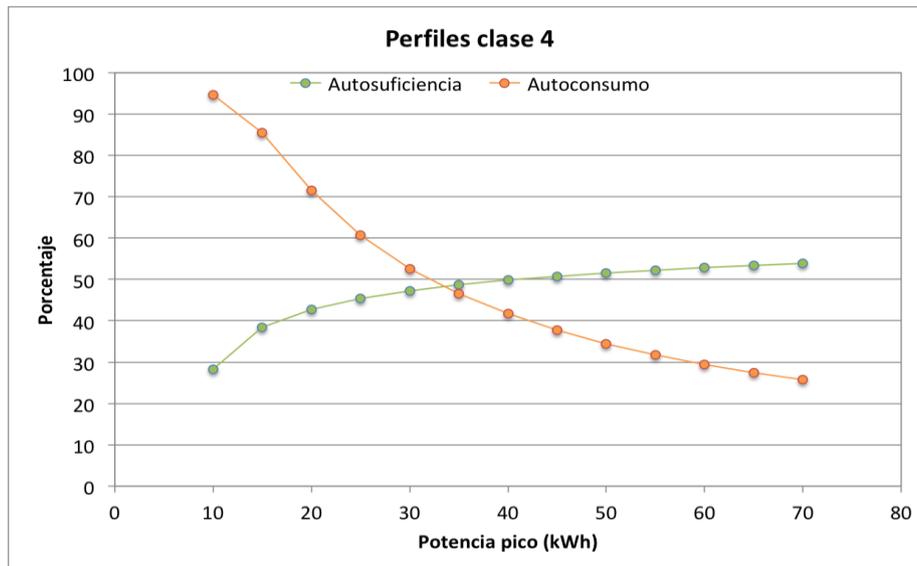


Figura 28. Valores de autosuficiencia y autoconsumo para París distintos tamaños de instalación para los perfiles de clase 4.



**Figura 29.** Valores de autosuficiencia y autoconsumo para Roma distintos tamaños de instalación para los perfiles de clase 4.

Los datos obtenidos para la ciudad de Berlín muestran que los valores de autosuficiencia para los perfiles de consumo de la clase 4 varían entre un 20 y un 50 %, y los de autoconsumo entre un 96 y un 34 %. El punto en el que se igual estos parámetros corresponde a una potencia pico algo superior a 47 kW y el valor que alcanzan es de un 45 %. Alcanza valores de autosuficiencia superiores al 50 % empieza a ser poco práctico desde el punto de vista del importante descenso que se produce en el autoconsumo.

Para la ciudad de Madrid, los valores estimados de autosuficiencia varían entre un 30 y un 57 % y los de autoconsumo varían entre un 94 y un 25 %. Para los datos analizados de Madrid, la potencia pico a la que ambos factores son similares es algo superior a 31 kWh, y el valor que alcanzan es aproximadamente del 50 %.

Para la localidad de París, los valores obtenidos de autosuficiencia varían entre un 22 y un 52 %. Por su parte, los valores de autoconsumo correspondientes varían entre un 96 y un 33 %. La potencia pico a la que ambos factores son similares es cercana a 45 kWh, y para este tamaño de instalación estos parámetros alcanzan un valor del 47 %.

Por último, los valores de autosuficiencia obtenidos para la localidad de Roma varían entre un 22 y un 52 % y los de autoconsumo entre un 96 y un 33 %. Ambos parámetros alcanzan un valor de un 48 % para la potencia de 33 kWh, con la que la energía producida por la instalación fotovoltaica iguala a la energía consumida durante el periodo de análisis.

## Conclusiones y Propuestas de la Fundación Renovables para el diseño de instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo residenciales y de establecimientos comerciales

Tras el estudio realizado, y la discusión de los resultados obtenidos presentada en el apartado anterior, hay que destacar algunos de las conclusiones más relevantes que se han alcanzado en este proyecto.

Por una parte, se han utilizado varias clases de tipos de perfiles de consumo que representan tanto a consumos que se pueden considerar domésticos como a consumos no residenciales. De entre éstos, se han analizado consumos de tres tipos distintos respecto al momento en que se producen las cargas. Por una parte, consumos que se pueden considerar principalmente nocturnos, por otra consumos en los que la mayor parte del consumo se produce durante el día y, por último, consumos mixtos con una componente diurna y otra nocturna. Para el consumo doméstico o residencial, el valor medio diario estimado de consumo es de unos 20 kWh. En el caso de los consumos no residenciales, los consumos medios diarios varían aproximadamente entre 30 y 140 kWh.

Para el tipo de consumo doméstico, los tamaños de instalación necesarios para que el total de la energía consumida sea similar al total de la energía producida por el sistema fotovoltaico y los valores de autosuficiencia y autoconsumo que se alcanzan para estas potencias son para cada localidad los siguientes:

- Berlín: la potencia pico necesaria es de 7.2 kW y los valores de autoconsumo y autosuficiencia están un poco por encima del 36%.
- Madrid: la potencia pico necesaria es de 4.8 kW y los valores de autoconsumo y autosuficiencia son del 40 %.
- París: la potencia pico necesaria es de 6.7 kW y los valores de autoconsumo y autosuficiencia son del 38 %.
- Roma: la potencia pico necesaria es de 5.1 kW y los valores de autosuficiencia y autoconsumo son del 38%.

Se puede concluir, por tanto, que en el mejor caso (Madrid) la autosuficiencia que se consigue para esta potencia pico y estos perfiles de consumo es del 40 %, y el peor de los casos (Berlín) baja al 36%. Así, para conseguir que la energía generada por el sistema fotovoltaico sea igual a la consumida, la potencia pico que hay que instalar

---

varía entre 4.8 kW (Madrid) y 7.2 kW (Berlín). La diferencia más importante, como era de esperar, es que para obtener una autosuficiencia del 40 % en Roma habría que hacer una instalación de 7 kW, en París de 9 kW y en Berlín de 12 kW, mientras que en Madrid se consigue con sólo 4.8 kW.

Para la clase de consumos 2, que correspondía a consumos nocturnos, los resultados respecto al tamaño de instalación necesario para que se produzca la misma energía que la que se consume son los siguientes:

- Berlín: la potencia pico necesaria es de 12.4 kW y los valores de autoconsumo y autosuficiencia están un poco por encima del 30%.
- Madrid: la potencia pico necesaria es de 8.3 kW y los valores de autoconsumo y autosuficiencia son del 30 %.
- París: la potencia pico necesaria es de 11.5 kW y los valores de autoconsumo y autosuficiencia son del 29 %.
- Roma: la potencia pico necesaria es de 8.8 kW y los valores de autosuficiencia y autoconsumo son del 31%.

Para este tipo de consumos, si bien los tamaños de instalación son proporcionalmente similares a los de los otros tipos de consumo, los valores de autosuficiencia y autoconsumo son muy similares para todas las localidades analizadas y están en torno al 30 %. Es muy costoso subir los porcentajes de autosuficiencia debido a que la mayoría de los consumos se producen por la noche.

Para los consumos de la clase 3, que corresponde a consumos no residenciales mayoritariamente diurnos, los resultados respecto al tamaño de instalación necesario para que se produzca la misma energía que la que se consume son los siguientes:

- Berlín: la potencia pico necesaria es de 24.9 kW y los valores de autoconsumo y autosuficiencia están un poco por encima del 47 %.
- Madrid: la potencia pico necesaria es de 16.5 kW y los valores de autoconsumo y autosuficiencia son del 56 %.
- París: la potencia pico necesaria es de 23.1 kW y los valores de autoconsumo y autosuficiencia son del 51 %.
- Roma: la potencia pico necesaria es de 17.6 kW y los valores de autosuficiencia y autoconsumo son del 52%.

Para este tipo de consumos, en la potencia pico en la que la instalación fotovoltaica produce la misma energía que se consume, los valores de autosuficiencia (y

---

autoconsumo, pues en ese punto son iguales) suben significativamente respecto a la clase anterior, y se alcanzan valores que varían entre un 47 y un 56 %. Estos valores tan altos se consiguen por el buen acoplamiento temporal que hay entre la producción fotovoltaica y los consumos.

Finalmente, para los perfiles de consumo de la clase 4, los valores de potencia pico que hacen que la producción fotovoltaica se iguale al consumo y los correspondientes valores de autoconsumo y autosuficiencia son los siguientes:

- Berlín: la potencia pico necesaria es de 47.3 kW y los valores de autoconsumo y autosuficiencia están un poco por encima del 45 %.
- Madrid: la potencia pico necesaria es de 31.5 kW y los valores de autoconsumo y autosuficiencia son del 51 %.
- París: la potencia pico necesaria es de 44.0 kW y los valores de autoconsumo y autosuficiencia son del 47 %.
- Roma: la potencia pico necesaria es de 33.5 kW y los valores de autosuficiencia y autoconsumo son del 48%.

Los perfiles de consumo de esta clase presentan también un componente de consumo diurno importante, aunque hay además un fondo de consumo grande durante todo el día. Los valores de autosuficiencia son también altos, aunque algo inferiores a los de la clase 3 debido a ese consumo fijo durante todo el día.

Como conclusión general y recomendación importante, se puede afirmar que, para los consumos residenciales, si se diseñan instalaciones fotovoltaicas que sean capaces de generar un total de energía similar a lo largo del año a la consumida, y sin hacer ninguna gestión de la demanda, los porcentajes de autosuficiencia y autoconsumo que se alcanzarán variarán entre un 35 y un 40 % dependiendo de los niveles de radiación que se reciban en el emplazamiento de la instalación.

Para instalaciones diseñadas de manera que el sistema fotovoltaico produzca la misma energía que se consume, en el caso de consumos no residenciales, si los consumos se distribuyen de manera uniforme durante el día y con picos de consumo nocturnos, los porcentajes de autosuficiencia estarán en valores próximos al 30 %; en el caso de consumidores no residenciales pero que tienen un mayor consumo durante las horas del día, los valores de autoconsumo y autosuficiencia estarán en el rango del 45 al 55 %, dependiendo tanto de los niveles de radiación de cada emplazamiento como del consumo fijo que haya durante todo el día.

---

Como posibles trabajos que se podrían abordar en el futuro, sería un análisis de cómo la utilización de baterías puede ayudar a aumentar los valores de autoconsumo y autosuficiencia, así como determinar cuáles podrían ser los tamaños óptimos de batería en función de los perfiles de consumo y los niveles de radiación de distintos emplazamientos.

## Bibliografía

- Ayala Gilardón, A., Mora-López, L. y Sidrach-de-Cardona, M. *Design and Evaluation of Self-consumption Photovoltaic Installation. Energy and Sustainable Development Symposium, 2015.*
  - Castañer, L., y Silvestre, S. (2002). *Modelling Photovoltaic Systems using PSpice.* Wiley.
  - Davidson, C., Gagnon, P., Denholm, P., y Margolis, R. (2015). *Nationwide Analysis of U. S. Commercial Building Solar Photovoltaic (PV) Breakeven Conditions.*
  - E. Lorenzo, *Radiación solar y dispositivos fotovoltaicos. Vol. II, Sevilla: Progensa, 2006.*
  - R. Luthander, J. Widén, D. Nilsson y J. Palm, «Photovoltaic self-consumption in buildings: A review,» *Applied Energy*, pp. 80-94, 2015.
  - N. Martín y J. M. Ruiz, «Annual angular reflection losses in PV modules,» *Progress in Photovoltaics, Research and Applications*, nº 13, pp. 75-84, 2005.
  - «Meteonorm Handbook part II: Theory Version 7.2,» [En línea]. Available: [http://www.meteonorm.com/images/uploads/downloads/mn72\\_theory7.2.pdf](http://www.meteonorm.com/images/uploads/downloads/mn72_theory7.2.pdf). [Último acceso: 04 noviembre 2017].
  - N. Martin y R. J. M., «Calculation of the PV modules angular losses under field conditions by means of an analytical model,» *Solar Energy Materials & Solar Cells*, nº 70, pp. 25-38, 2001.
  - N. Martín y J. M. Ruiz, «Annual angular reflection losses in PV modules,» *Progress in Photovoltaics, Research and Applications*, nº 13, pp. 75-84, 2005.
  - «OpenEI. U.S. Department of Energy. Open Data Catalog. Commercial and Residential Hourly Load Profiles for all TMY3 Locations in the United States,» [En línea]. Available: <http://en.openei.org/doe-opendata/dataset/commercial-and-residential-hourly-load-profiles-for-all-tmy3-locations-in-the-united-states>. [Último acceso: 02 11 2017].
  - J. Remund y S. Müller, *Meteonorm: Handbook Part I: Software Version 7.1, Switzerland: METEOTEST, 2014.*
  - Schmela, M. (2017). *Global Market Outlook for Solar Power / 2017-2021.*
-

- *Wenham, S., Green, M., Watt, M., y Corkish, R. (2007). Applied Photovoltaics (2.a ed.). Centre for Advanced Silicon Photovoltaics and Photonics.*
- *J. Zorrilla-Casanova, M. Piliougin y et al., «Analysis of dust losses in photovoltaic modules,» de Worl Renewable Congress, Sweden, 2011.*