



## VIABILIDAD DE USO DE PANELES FOTOVOLTAICOS COMO MECANISMO DE AHORRO ENERGÉTICO/CO2 EN ASTURIAS

Angel Johanny Guerrero Gallego <sup>[\*]</sup>, Miguel Angel Rey Ronco <sup>[\*\*]</sup>

<sup>[\*]</sup> Alumno; <sup>[\*\*]</sup> Tutor(es)

[UO284979@uniovi.es](mailto:UO284979@uniovi.es)

Departamento de Energía. Universidad de Oviedo.

### RESUMEN

Las políticas de reducción de gases de efecto invernadero de la Unión Europea resaltan la importancia del uso de energía procedente de fuentes renovables, lo que incentiva en el sector residencial el autoconsumo eléctrico. En España con la derogación en el año 2018 (RD 15/2018) al real decreto 900/2015 denominado coloquialmente como “impuesto al sol” y sumado a esto, la aprobación del gobierno del real decreto 244/2019 por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica, pretende cumplir el marco general de objetivos medioambientales de la unión europea y así mismo un incentivo de ahorro energético y económico en los usuarios con autoconsumo de energía eléctrica a partir de paneles fotovoltaicos.

Dicho lo anterior, se lleva a cabo el estudio económico, energético y de ahorro de CO2 para instalaciones fotovoltaicas en distintas tipologías de viviendas (unifamiliar, edificación de viviendas múltiples y vivienda en hilera), en la comunidad autónoma del principado de Asturias, para de esta forma determinar la viabilidad del uso de energía fotovoltaica como mecanismo de ahorro de CO2 y seguir el marco regulatorio medioambiental español y europeo. Considerando la normativa actual sobre autogeneración de energía eléctrica en España, que la potencia generada sea inferior a la potencia de suministro contratada, así mismo que la energía autoproducida en un ciclo de medida (un mes) no suponga un valor neto positivo de energía aportada a la red y, por último, que la instalación fotovoltaica sea ubicada directamente en la cubierta de la vivienda sin una modificación sustancial de esta.

El estudio refleja que el retorno de la inversión se obtiene en los años 13, 8 y 10, y que el ahorro de emisiones de CO2 son de 7.54 tCO2 eq., 41.73 tCO2 eq. y 24.62 tCO2 eq. en la

vivienda unifamiliar, la edificación de viviendas y las viviendas en hilera respectivamente. La estimación de la generación fotovoltaica se realizó mediante el software PVSyst.

### ABSTRACT

The European Union's greenhouse gas reduction policies highlight the importance of using energy from renewable sources, this will encourage self-consumption of electricity in the residential sector. In Spain, with the repeal in 2018 (RD 15/2018) of Royal Decree 900/2015 colloquially referred to as “tax to the sun” and also the approval of the government of Royal Decree 244/2019 which regulates the administrative, technical and economic conditions for self-consumption of electrical energy, it is intended to meet the general framework of environmental objectives of the European Union and furthermore an incentive for energy and economic savings in users with self-consumption of electricity from photovoltaic panels.

With the information that has been given previously, an economic, energy and CO2 saving study is carried out for photovoltaic installations in different types of houses (single-family, multi-house building and row house), in the autonomous community of the “Principado de Asturias”, and in this way determine the viability of using photovoltaic energy as a CO2 saving mechanism and follow the Spanish and European environmental regulatory framework.

Considering the current regulations in self-generation of electrical energy in Spain, the generated power will be less than the contracted supply power, as well as the self-produced energy in a measurement cycle (one month) will not suppose a positive net value of energy contributed to the network, finally the photovoltaic installation will be directly on the roof of the house without a substantial modification of it.



The study reflects that the return in the investment will be obtained after 13, 8 and 10 years, and moreover the savings in CO<sub>2</sub> emissions will be 7.54 tCO<sub>2</sub> eq., 41.73 tCO<sub>2</sub> eq. and 24.62 tCO<sub>2</sub> eq. for the single-family house, the block of houses and the houses placed in a row, respectively. The estimation of photovoltaic generation was carried out using the PVSyst software.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Directiva 2012/27/UE, relativa a la eficiencia energética, considera que la Unión Europea se enfrenta a retos sin precedentes debido a una creciente dependencia de las importaciones de energía y a la escasez de recursos energéticos, así como a la necesidad de limitar el cambio climático [1]. Dada la importante demanda energética que se tiene en el sector residencial, resulta clave para las políticas energéticas actuales, crear la necesidad de afrontar estos retos mediante el uso de energía procedente de fuentes renovables y así reducir la dependencia energética de la Unión Europea y las emisiones de gases de efecto invernadero [2], pues la Directiva 2012/27/UE indica que los edificios representan el 40% del consumo de energía final de la Unión Europea.

En España el sector residencial se encuentra dentro de los sectores difusos, estos son aquellos que abarcan las actividades no sujetas al comercio de derechos de emisión. El conjunto de estos sectores difusos corresponde a la producción del 61% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero aproximadamente, teniendo el sector residencial un aporte del 14% dentro del conjunto de difusos. España para mitigar las emisiones de CO<sub>2</sub> y hacer frente a los cambios y políticas ambientales, planteo Los objetivos de reducción de gases de efecto invernadero comprometidos para el periodo 2013-2020 que corresponde a una reducción del 10% respecto a los niveles del año 2005, una vez terminado este periodo, el compromiso para el periodo 2021-2030 es la reducción de un 30% de estos gases respecto al año 2005 [3].

De acuerdo con el “proyecto SECH SPAHOUSEC”, desarrollado por el IDEA (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), en España la principal fuente energética utilizada en el sector residencial es la electricidad, con una proporción aproximada al 35% del total de fuentes energéticas consumidas (en la Figura 1 se evidencian la distribución de consumo de fuentes energéticas en el sector residencial [4]), lo que incita y motiva a que se defina un método de generación distribuida renovable amigable con el medio ambiente en el sector residencial.

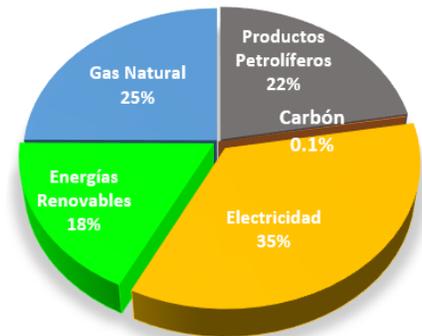


Figura 1 Consumo según fuentes energéticas en España

España tiene un gran potencial para el aprovechamiento fotovoltaico debido a su ubicación geográfica y sus niveles altos de radiación solar. Sin embargo, en comunidades autónomas como Asturias, (ubicación objetivo de este estudio), tiene una radiación baja en comparación a la media del resto del país, lo que hace cuestionarse si es viable el uso de energía fotovoltaica. No obstante, si se compara esta radiación con las de países como Alemania pioneros en energía fotovoltaica, se evidencia que Asturias tiene una mayor radiación solar que Alemania, por lo que esto hace pensar y plantear que Asturias también puede tener un gran potencial para el uso de energía fotovoltaica, el cual puede ser aprovechado en el sector residencial para mitigar los gases de efecto invernadero y, acoplarse y cumplir los objetivos de política medio ambiental y de eficiencia energética. En la Figura 2 se observa el mapa de radiación solar de Europa, observando que Asturias tiene aproximadamente una radiación anual de 1241 kWh/m<sup>2</sup> y en Alemania una radiación anual aproximada de 1022 kWh/m<sup>2</sup>.

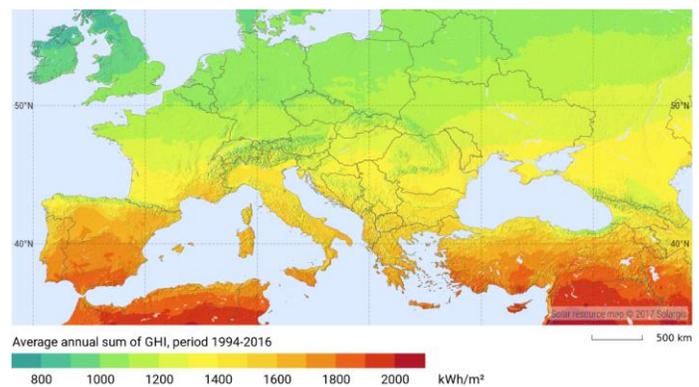


Figura 2 Mapa de radiación solar promedio anual en Europa [5].

En la comunidad autónoma del Principado de Asturias el consumo de energía final y generación de emisiones de CO<sub>2</sub> en el sector residencial es aproximadamente el 8.2% y 21.5%



respectivamente de acuerdo con la Fundación Asturiana de la Energía [6]. Asturias actualmente, cuenta con 843 instalaciones de energía Solar, con una potencia pico total de 2.32 MW; de ellas, 201 instalaciones corresponden a autoconsumo fotovoltaico con una potencia instalada aproximada de 1.3 MW, observando que corresponde a cerca del 55% del total de la potencia instalada de energía solar en Asturias, recordando que el autoconsumo se lleva instalando a partir del 2015 [7].

## 2. NORMATIVA AUTOCONSUMO

El Real Decreto 244/2019 fue aprobado el 5 de abril de 2019, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. El cual establece las condiciones para el autoconsumo fotovoltaico. Entre los cambios más importantes que se tienen en este real decreto, fue completar el marco regulatorio del RD 15/2018 (este real decreto eliminó el denominado “impuesto al sol” RD 900/2015), las otras principales variantes son:

- La energía producida a partir de instalaciones de autoconsumo quedaba completamente libre de impuestos.
- Desarrolla el autoconsumo individual y colectivo
- Se simplifican los trámites administrativos y técnicos, especialmente para instalaciones de pequeña potencia.
- Se elimina el límite de potencia de la instalación fotovoltaica.
- Se posibilita el alquiler de tejados y/o cubiertas para que terceros puedan producir electricidad.

Este nuevo real decreto que acoge las instalaciones de autoconsumo fotovoltaico, habilita las siguientes configuraciones de instalación:

- **Individuales**, que comprende a un único consumidor asociado a una única instalación fotovoltaica
- **Colectivos**, Cuando existen varios consumidores asociados a la misma instalación fotovoltaica. Esta configuración permite entonces, instalaciones en las comunidades de propietarios o en polígonos industriales.

Así mismo estas configuraciones podrán conectarse de dos formas, próximas en red interior y próximas a través de red. La primera de estas consiste en la conexión en la red de los consumidores (que no son las redes de transmisión o de distribución), y la segunda plantea la conexión a las redes de baja tensión que dependan del mismo centro de

transformación, o se conecten a menos de 500m del consumidor, o estén ubicadas en la misma referencia catastral que el consumidor.

Dentro de las modalidades de autoconsumo se tienen el autoconsumo sin excedentes, el cual consta de instalaciones conectadas a red y cuentan con un dispositivo antivertido que impide la inyección de excedentes de generación hacia la red. El otro tipo de modalidad es el autoconsumo con excedentes, en esta modalidad además de producir energía eléctrica para autoconsumo, puede inyectar excedentes de generación hacia la red de transporte y distribución. En esta última modalidad se puede acoger a compensación ya sea que, a final de cada periodo de facturación, la comercializadora compense por los sobrantes energéticos o no acoger a compensación y vender los excedentes al mercado eléctrico [8] [9].

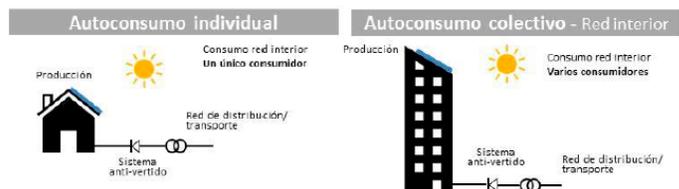


Figura 3 Esquema autoconsumo sin excedentes [8].

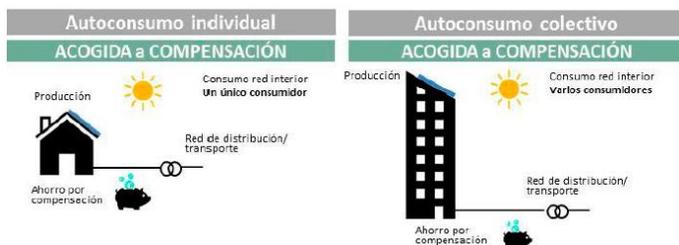


Figura 4 Esquema autoconsumo con excedentes acogida a compensación [8].

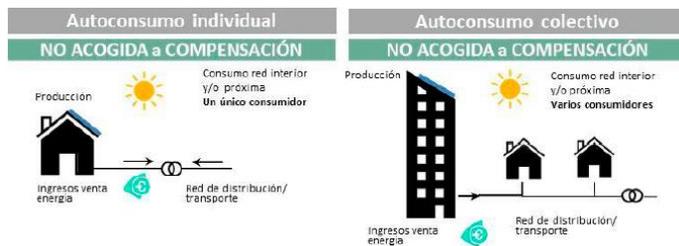


Figura 5 Esquema autoconsumo con excedentes sin acogida a compensación [8].

Para la correcta aplicación de este Real Decreto (RD 244/2019), el IDAE realizó “Guía Profesional de Tramitación del Autoconsumo”, la cual enumera en 17 pasos la tramitación

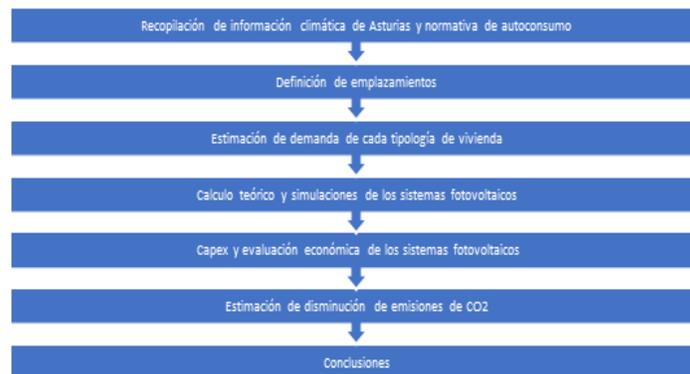


administrativa [10]. A continuación, se muestran estos pasos generales, el detalle para cada tipo de instalación de autoconsumo fotovoltaico con y sin excedentes se evidencian en el Anexo A

1. Diseño de la instalación. Instalaciones en Baja Tensión y con potencia  $\leq 10$  kW deben entregar una memoria técnica. las instalaciones con potencias  $>$  a 10 kW deben entregar un proyecto técnico.
2. Permisos de acceso y conexión / avales o garantías. Necesario CAU (Código de Autoconsumo). Las instalaciones sin excedentes y con excedentes de potencia  $\leq 15$  kW quedan exentas de solicitar permisos de acceso y conexión. El resto de instalaciones deben tramitar los accesos de conexión a la red de distribución. Este proceso debe ser realizado con la compañía instaladora.
3. Autorizaciones ambientales y de utilidad pública
4. Autorización administrativa previa y de construcción. Las instalaciones con potencias  $\leq 100$  kW y en Baja Tensión están exentas.
5. Licencia de obras
6. Ejecución de la instalación
7. Inspección inicial e inspecciones periódicas
8. Certificados de instalación y/o certificados fin de obra
9. Autorización de la instalación. Instalaciones en Baja Tensión con potencias  $\leq$  a 100 kW quedan exentas.
10. Contrato de acceso
11. Contrato de suministro de energía servicios auxiliares
12. Licencia de actividad. Este paso únicamente aplica a las instalaciones de autoconsumo con excedentes no acogidas a compensación.
13. Acuerdo de reparto y contrato de compensación de excedentes
14. Inscripción en el Registro Autonómico de autoconsumo. Únicamente deben realizarla las instalaciones de autoconsumo con excedentes con potencia igual o mayor 100 kW en BT y todas las de autoconsumo con excedentes en AT.
15. Inscripción en el Registro Administrativo de Autoconsumo de energía eléctrica. Las instalaciones de autoconsumo con excedentes (acogido o no a compensación) deben estar inscritas
16. Inscripción en el Registro Administrativo de Instalaciones Productoras de Energía Eléctrica (RAIPRE). Solo instalaciones con excedentes de potencia superior a 100 kW.
17. Contrato de representación del mercado. Aplica a las instalaciones con excedentes no acogidas al mecanismo de compensación de excedentes.

### 3. MÉTODO DE TRABAJO

El método de trabajo utilizado en el presente proyecto consta de 7 etapas, las cuales se presentan a continuación.



### 4. DEFINICIÓN DE EMPLAZAMIENTOS (CONFIGURACIÓN DE VIVIENDAS)

Se tienen en cuenta tres tipologías de vivienda: Unifamiliar, edificio de viviendas múltiples y viviendas en hilera. Para cada una de estas tipologías se supone que la orientación de la cubierta donde se dispondrán los paneles solares está ubicada con vista al sur o lo más próximo a este (es decir, con azimut aproximada de  $180^\circ$ ). Esto se debe a que los paneles solares fotovoltaicos tienen mayor producción cuando los rayos solares inciden perpendicularmente en su superficie. A continuación, se describen cada una de las tipologías de vivienda en estudio de este documento.

#### Vivienda Unifamiliar

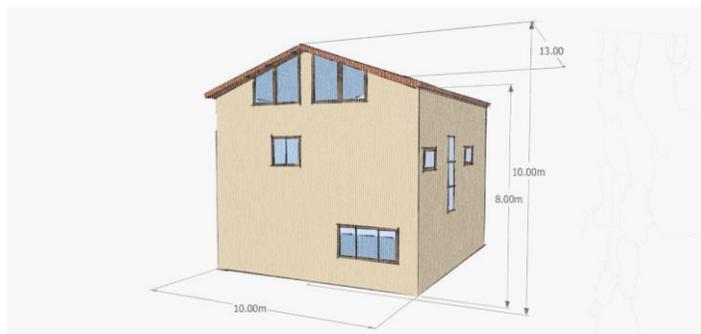


Figura 6 Dimensiones vivienda unifamiliar en estudio.



Figura 7 Dimensiones tejado vivienda unifamiliar en estudio.

- Localización: Latitud 43.414976° - Longitud - 5.790566°
- Área techo: 130 m<sup>2</sup>
- Área techo aprovechable: 65 m<sup>2</sup>
- Altura: 10 m
- Inclinación del tejado: 37 °
- Azimut: 165°
- Potencia contratada: 6 kW

#### Edificio de viviendas



Figura 8 Dimensiones edificio de viviendas en estudio.

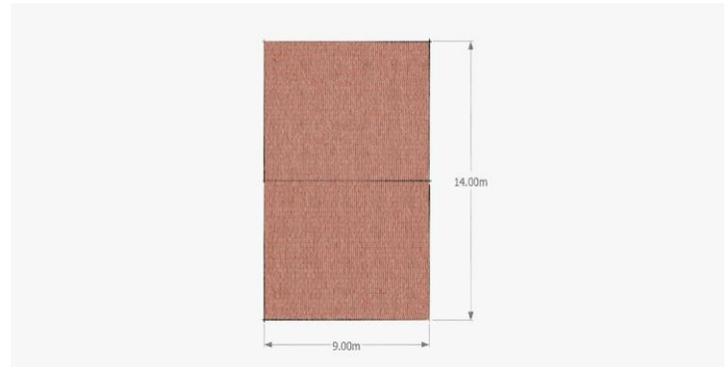


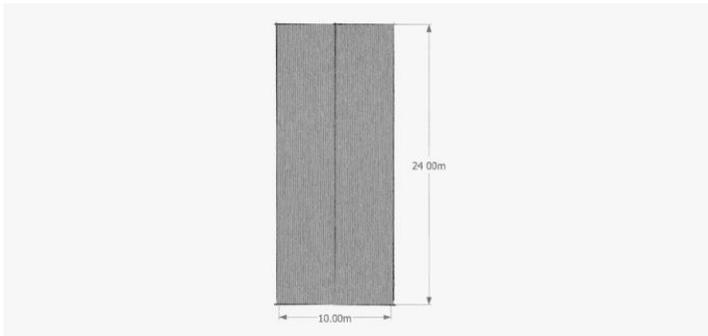
Figura 9 Dimensiones tejado edificio de viviendas en estudio.

- Localización: Latitud 43.540009° - Longitud - 5.656284°
- Área techo: 126 m<sup>2</sup>
- Área techo aprovechable: 58 m<sup>2</sup>
- Altura: 22 m
- Inclinación del tejado: 38 °
- Azimut: 200°
- Número de viviendas: 8
- Número de plantas: 4
- Potencia contratada por vivienda: 4 kW

#### Viviendas en hilera



Figura 10 Dimensiones viviendas en hilera en estudio.

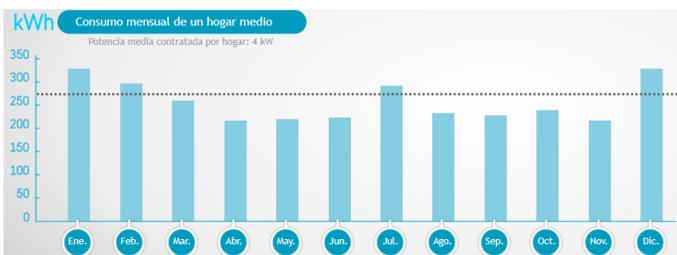


**Figura 11 Dimensiones viviendas en hilera de viviendas en estudio.**

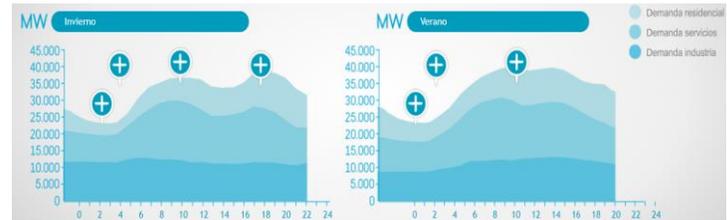
- Localización: Latitud 43.533455° - Longitud - 5.895439°
- Área techo: 240 m<sup>2</sup>
- Área techo aprovechable: 120 m<sup>2</sup>
- Altura: 11 m
- Inclinación del tejado: 35 °
- Azimut: 170°
- Número de viviendas: 4
- Potencia contratada por vivienda: 5 kW

### 5. DEMANDA (CONSUMO ELÉCTRICO)

De acuerdo con Red Eléctrica de España, el consumo residencial representa aproximadamente el 25% del consumo eléctrico del país. Así mismo, indican que la potencia media contratada por hogar es de 4 kW y el consumo medio mensual es cerca de 270 kWh, donde el consumo de los hogares es mayor en los meses de invierno, debido a la calefacción y la iluminación, y en los meses más calurosos por el uso del aire acondicionado [11]. En la Figura 12 se muestra el consumo medio mensual, y en la Figura 13 se evidencia la curva horaria de consumo por sectores de acuerdo con la REE.



**Figura 12 Consumo medio mensual de un hogar español [11]**

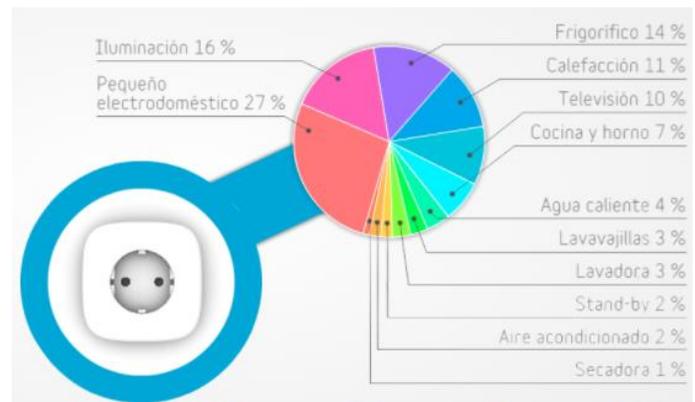


**Figura 13 Consumo horario por sector [11]**

De igual forma, Red Eléctrica de España proporciona datos diarios y anuales del consumo medio, facturación media y emisiones de CO<sub>2</sub> medias por hogar en España, las cuales se muestran en la Tabla 1. Además, en la Figura 14 se evidencia la distribución del consumo eléctrico desagregado por electrodomésticos.

**Tabla 1 Datos de consumo de un hogar medio**

	Anual	Diario
Consumo medio de un hogar español	3.272 kWh	9 kWh
Facturación media	500 €	1,35 €
Emisiones de CO <sub>2</sub> medias por hogar	1.300 kg	3,6 kg



**Figura 14 Distribución del consumo anual de un hogar medio**

Dado que para el proyecto no se conoce puntualmente la curva de consumo horario de las distintas topologías, se reconstruye una curva típica horaria media a partir de los datos proporcionados por REE para un hogar medio (piso). Utilizando los valores medios de consumo (Tabla 1), y conociendo el comportamiento de la curva horaria de consumo media del sector residencial (Figura 13), se proyecta la curva de consumo horario de un hogar medio (ver Figura 15), y a partir de esta curva se recrean las curvas de demanda promedio horaria para las 3 tipologías de viviendas del presente estudio.



**Figura 15** Demanda promedio horaria diaria de un hogar medio

Como se mencionó anteriormente, con base a la curva de demanda de un hogar medio, se realizan las respectivas curvas de demanda para las viviendas en hilera y la vivienda unifamiliar, suponiendo que respecto a la demanda de un hogar medio estas tienen un 10% (cada una) y 20% mayor de consumo respectivamente.

Además, Para el consumo total de las viviendas en edificación y las viviendas en hilera, teniendo en cuenta lo dicho en el apartado 4 (la edificación es de 4 plantas con 8 viviendas en total y las viviendas en hilera son 4), se utiliza un coeficiente de simultaneidad de 7 y 3.8 correspondientemente según indica la GUIA-BT-10 para el número de viviendas conjuntas, es decir, la curva de consumo promedio horario diario se multiplica por el coeficiente de simultaneidad indicado para cada tipología de vivienda. A continuación, se presenta en la Figura 16 la curva de consumo horario medio de la vivienda unifamiliar, en Figura 17 el consumo total medio horario de las viviendas en edificación y en la Figura 18 el consumo total medio de las viviendas en hilera.



**Figura 16** Demanda total promedio diaria horaria, vivienda unifamiliar



**Figura 17** Demanda total promedio diaria horaria, edificación con viviendas



**Figura 18** Demanda total promedio diaria horaria, viviendas en hilera.



## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. DIMENSIONAMIENTO SISTEMA FOTOVOLTAICOS

A partir de las curvas de demanda horaria promedio de las tres tipologías de viviendas en estudio, se estima teóricamente los sistemas fotovoltaicos para cada una de ellas. Dado que no se tiene contemplado almacenamiento en el presente proyecto, se contempla cubrir el consumo de demanda eléctrica para las 12 horas del día (8:00 a 20:00 h), recordando que, la energía autoproducida en un ciclo de medida (un mes) no supone un valor neto positivo de energía aportada a la red. Además, se tiene en cuenta la ubicación de los módulos fotovoltaicos en la sección viable de los tejados en cada tipología de vivienda a estudiar (lado de la cubierta con orientación más cercana al sur).

Para el cálculo teórico se utiliza una energía incidente media anual en Asturias de 11.4 MJ/m<sup>2</sup>día [13]. De acuerdo a catálogos de fabricantes se asume una eficiencia de los paneles solares monocristalinos de 20%, una potencia de 400 Wp y un área de 2 m<sup>2</sup> por panel.

A continuación, se muestran las expresiones para el cálculo de cada uno de los componentes del sistema fotovoltaico, posteriormente se evidenciarán los resultados para las tres tipologías de vivienda objeto de este estudio.

**Demanda de energía anual que debe ser atendida por el sistema solar.**

$$D_E = \frac{D_{12h} * 365}{n_{inversor} * n_{cables}}$$

**D<sub>E</sub>** Demanda de energía anual a ser atendida.

**D<sub>12horas, día</sub>** Demanda de las 12 horas del día (curvas de consumo).

**n<sub>inversor</sub>** Eficiencia del inversor (0.95).

**n<sub>cables</sub>** Eficiencia del inversor (0.98).

**Cálculo energía producida por un panel fotovoltaico monocristalino**

Se deben tener en cuenta las pérdidas por orientación e inclinación, debido a que los paneles fotovoltaicos estarán superpuestos en los tejados de las viviendas y su orientación no es netamente al sur. Para esto utilizamos el diagrama de la Figura 19.

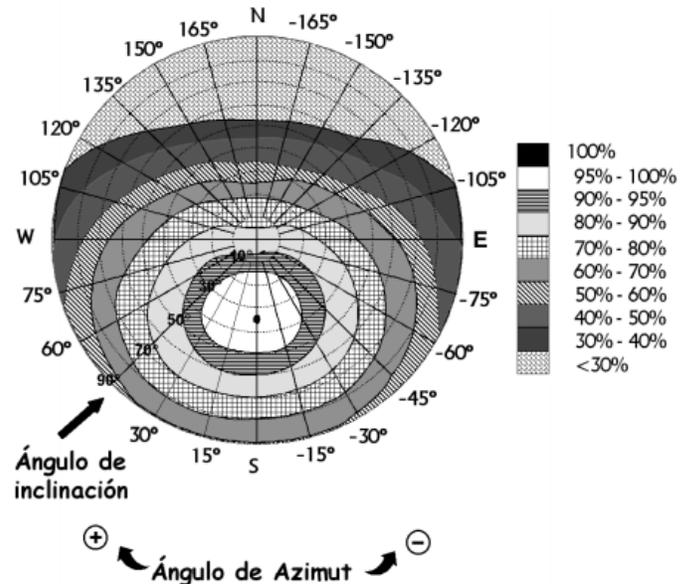


Figura 19 Pérdidas por orientación e inclinación.

Sin embargo, el diagrama de la Figura 19 está concebido para una latitud de 41°, es por esto que se debe hacer una corrección para que el diagrama sea apto para la latitud de Asturias (43°).

$$\beta(41^\circ) = \beta(\lambda) + (41^\circ - \lambda)$$

Además, se debe estimar las horas solares picos anuales en Asturias, para esto con la ayuda del libro "Tablas sobre Fundamentos de la Radiación Solar" [13] se calculan las HSP. De esta forma, se obtiene que Asturias tiene una media anual de 3.17 horas solares.

$$HSP(h) = \frac{E_{insistente}(\frac{1}{m^2 \cdot día})}{1000 W/m^2} * \frac{1}{3600 seg}$$

Una vez realizada la corrección y el cálculo de las horas solares pico, se incluyen estas dentro de la expresión para la estimación de la energía producida por un panel fotovoltaico.

$$E_{pr} = P_{pico} * HSP * 365 * (1 - PE)$$

**E<sub>pr</sub>** Energía Producida por un panel fotovoltaico en un año incluida pérdidas por orientación e inclinación.

**P<sub>pico</sub>** Potencia pico de un panel fotovoltaico.

**HSP** Horas solares pico.

**PE** Pérdidas por orientación e inclinación.



**Número de paneles necesarios**

$$N_t = \frac{D_E}{E_{pr}}$$

$$N_s = \left[ \frac{V_{nom,inv DC}}{V_{MPP}} \right]$$

$$N_p = \frac{N_t}{N_s}$$

- N<sub>t</sub>** Número total de paneles fotovoltaicos
- N<sub>s</sub>** Número de paneles en serie
- N<sub>p</sub>** Número de paneles en paralelo
- V<sub>nom,inv DC</sub>** Voltaje nominal del inversor en DC
- V<sub>MPP</sub>** Máximo voltaje del panel (voltaje de circuito abierto)

**Inversor**

Se debe cumplir que:

$$P_{inv,max DC} > P_{Sistema,DC}$$

$$P_{nom,inv DC} \cong P_{Sistema,DC}$$

$$P_{Sistema DC} = N_t * P_{MPP}$$

- P<sub>inv,max DC</sub>** Máxima potencia del inversor en DC
- P<sub>Sistema DC</sub>** Potencia del sistema en DC
- P<sub>MPP</sub>** Máxima potencia del panel fotovoltaico.

**Calculo sección conductores**

Para la selección del conductor se deben cumplir dos criterios correspondientes a máxima intensidad admisible y máxima caída de tensión (la cual no deberá superar el 3%)

- **Corriente Continua**

$$S = \frac{2 * I * L}{\sigma * \Delta V}$$

- S** Sección del cable en mm<sup>2</sup>
- I** Corriente en A
- L** largo del cable
- s** Conductividad
- DV** Caída de tensión.

- **Corriente Alterna**

$$S = \frac{2 * I * L * Cos\phi}{\sigma * \Delta V}$$

**Cosf** Factor de potencia (0.9)

**Protecciones (RD 1699/2011, RD 1663/200)**

- interruptor magnetotérmico con Icc superior a la indicada por la empresa distribuidora en el punto de conexión.
- Interruptor automático diferencial
- Interruptor automático para la desconexión-conexión automática de la instalación
- Protección para la interconexión de máxima y mínima frecuencia (51 y 49 Hz), y de máxima y mínima tensión.
- Podrá integrarse en el equipo inversor las funciones de protección de máxima y mínima tensión y frecuencia, y en tal caso las maniobras automáticas de desconexión-conexión serán realizadas por éste

Para finalizar, basándonos en las ecuaciones anteriormente descritas se estima el sistema fotovoltaico para cada tipología de vivienda, contemplando la limitación de no exceder la capacidad contratada en las viviendas, ni la superficie aprovechable de la cubierta. En la Tabla 2 se observan las características de los sistemas fotovoltaicos de cada tipología de vivienda.

**Tabla 2 Resultados calculo teórico sistema fotovoltaico para las distintas tipologías de vivienda de estudio**

Tipología de vivienda	Unifamiliar	Edificación de viviendas	Viviendas en Hillera
Producción de la instalación [kWh/día]	7.23	33.73	25.30
Producción de la instalación [kWh/año]	2638.07	12311.01	9233.26
Número de paneles	6 (6 Serie -1 Paralelo)	28 (14 Serie -2 Paralelo)	21 (7 Serie -3 Paralelo)
Potencia de la instalación [kWp]	2.4	11.2	8.4
Máx Potencia permitida DC del inversor [kWp]	3	24	14.8
Potencia AC Inversor [kW]	2	12	9 (3 x 3 kW AC)
Sección de cable DC	3.31 mm2 / 12 AWG	5.27 mm2 / 10 AWG	8.35 mm2 / 8 AWG
Sección de cable AC	2.08 mm2 / 14 AWG	8.35 mm2 / 8 AWG	8.35 mm2 / 8 AWG



## 6.2. SIMULACIONES

Partiendo de los cálculos teóricos estimados en el apartado anterior, se realizaron las simulaciones en el software PVSYST para determinar el número de paneles y configuraciones óptimas a implementar. Con la ayuda del software se garantiza que no se tenga un balance neto positivo de inyección a la red. Dicho lo anterior, se presenta para las tres tipologías de vivienda los resultados obtenidos.

Para cada una de las soluciones fotovoltaicas se tuvo en cuenta una latitud de 43°, para los datos meteorológicos se utilizó el archivo "MeteoNorm 7.2 Station" (que incluye el software PVsyst dentro de sus librerías) correspondientes a Oviedo. Los paneles implementados son del fabricante JINKO de capacidad de 400 Wp y para el fabricante de los inversores se utilizó Huawei, haciendo la salvedad que sus potencias varían entre las tipologías de vivienda de acuerdo a las configuraciones y números de paneles óptimos estimados.

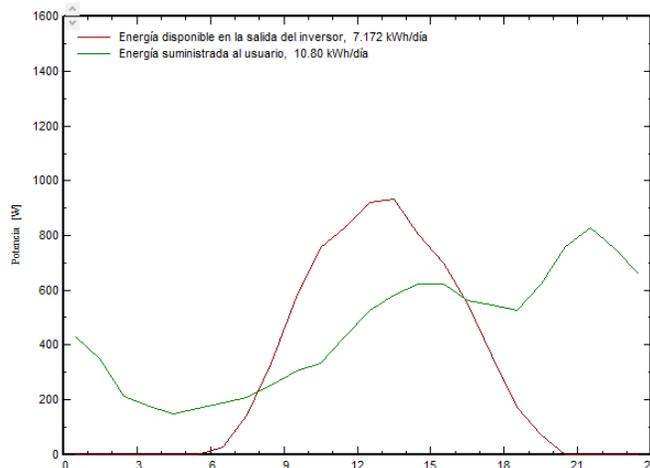
### Vivienda Unifamiliar

Para la vivienda unifamiliar se utilizaron 5 paneles, 1 menos referente a la misma opción estimadas teóricamente, para un total de 2 kWp instalados, cumpliendo así que la energía consumida sea mayor a la energía inyectada a la red. Para este diseño se tiene en cuenta, además, un inversor del fabricante Huawei SUN2000-2KTL con potencia de 2 kW en AC. En la Tabla 3 se presenta el balance de energía producida y suministrada por el sistema fotovoltaica, y en la Figura 20 se presenta la comparación de los perfiles de consumo y producción horaria. El resumen de la simulación completa se puede consultar en el anexo B.

**Tabla 3 Datos de producción solar y del sistema fotovoltaico para solución en vivienda unifamiliar**

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	T_Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray kWh	E_User kWh	E_Solar kWh	E_Grid kWh	EFrGrid kWh
January	48.5	22.60	8.50	85.2	83.8	163.5	334.8	90.0	65.6	244.8
February	66.8	33.80	8.20	96.9	95.4	185.0	302.4	96.6	80.5	205.7
March	105.1	51.20	10.40	133.6	130.8	253.0	334.8	131.7	111.0	203.0
April	128.1	62.30	10.90	139.5	136.4	260.8	324.0	127.5	122.2	196.5
May	150.1	82.80	13.70	145.8	142.0	270.2	334.8	138.4	119.7	196.3
June	151.6	83.80	16.70	141.2	137.5	258.9	324.0	137.2	109.4	186.8
July	161.3	87.00	18.20	153.0	148.9	278.8	334.8	146.2	119.9	188.6
August	142.7	71.30	18.60	148.7	145.1	269.9	334.8	132.9	125.3	201.9
September	122.3	49.80	16.30	148.2	145.2	272.4	324.0	130.5	130.8	193.5
October	78.3	37.80	14.20	108.4	106.3	202.0	334.8	101.4	91.4	233.3
November	47.3	25.70	9.90	72.9	71.6	139.0	324.0	81.6	50.1	242.4
December	38.6	19.10	7.70	71.8	70.7	138.5	334.8	83.9	47.4	250.9
Year	1240.7	627.20	12.81	1445.0	1413.7	2692.0	3941.6	1398.0	1173.3	2543.7

<b>Legends</b>			
GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_User	Energy supplied to the user
T_Amb	Ambient Temperature	E_Solar	Energy from the sun
GlobInc	Global incident in coll. plane	E_Grid	Energy injected into grid
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EFrGrid	Energy from the grid



**Figura 20 Comparación de los perfiles de generación y consumo para una vivienda unifamiliar**

La producción total del sistema solar fotovoltaico de acuerdo a los resultados obtenidos por el software PVSYST para la vivienda unifamiliar estudiada en el presente documento es de 2692.0 kWh teniendo en cuenta las pérdidas (correspondientes a un 3% aproximadamente), de los cuales son autoconsumidos 1398.0 kWh por año y vertidos a la red 1173.3 kWh al año.

### Edificación de viviendas múltiples

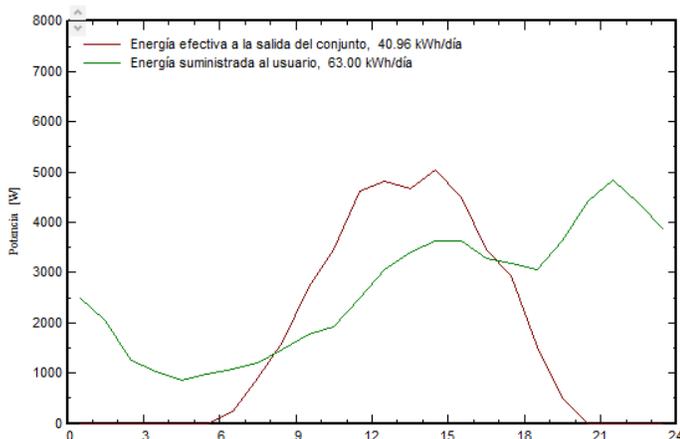
Para esta tipología de vivienda se aprovecha toda el área viable de la cubierta, además el diseño evidencia que no haya más inyección de energía a la red que la autoconsumida. La configuración de esta solución consta de 2 strings con 14 paneles en serie cada uno, para un total de 28 paneles con capacidad de 11.20 kWp, que ocupan un área aproximada de 56 m<sup>2</sup> y se implementó un inversor del fabricante Huawei modelo SUN2000-12KTL-M0 con 2 entradas MPPT, con una potencia de 12 kW en AC. En la Tabla 4 se presenta el balance de energía producida y suministrada de la solución fotovoltaica para esta tipología de vivienda. El resumen de la simulación completa se puede consultar en el anexo B.



**Tabla 4 Datos de producción solar y del sistema fotovoltaico para solución en edificación de viviendas múltiples**

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	T_Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray MWh	E_User MWh	E_Solar MWh	E_Grid MWh	EFrGrid MWh
January	48.5	22.60	8.50	85.5	84.1	0.897	1.953	0.543	0.335	1.410
February	66.8	33.80	8.20	96.8	95.2	1.007	1.764	0.576	0.411	1.188
March	105.1	51.20	10.40	133.6	131.0	1.383	1.953	0.801	0.555	1.152
April	128.1	62.30	10.90	138.6	135.5	1.409	1.890	0.773	0.607	1.117
May	150.1	82.80	13.70	143.2	139.4	1.445	1.953	0.841	0.574	1.112
June	151.6	83.80	16.70	138.1	134.3	1.382	1.890	0.839	0.513	1.051
July	161.3	87.00	18.20	149.6	145.5	1.486	1.953	0.888	0.566	1.065
August	142.7	71.30	18.60	145.1	141.5	1.432	1.953	0.806	0.596	1.147
September	122.3	49.80	16.30	149.2	146.2	1.489	1.890	0.805	0.655	1.085
October	78.3	37.80	14.20	108.6	106.5	1.100	1.953	0.611	0.466	1.342
November	47.3	25.70	9.90	72.9	71.6	0.762	1.890	0.499	0.246	1.391
December	38.6	19.10	7.70	70.9	69.7	0.748	1.953	0.496	0.234	1.457
Year	1240.7	627.20	12.81	1432.0	1400.6	14.540	22.984	8.477	5.756	14.517

**Legends**  
 GlobHor Global horizontal irradiation  
 DiffHor Horizontal diffuse irradiation  
 T\_Amb Ambient Temperature  
 GlobInc Global incident in coll. plane  
 GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings  
 EArray Effective energy at the output of the array  
 E\_User Energy supplied to the user  
 E\_Solar Energy from the sun  
 E\_Grid Energy injected into grid  
 EFrGrid Energy from the grid



**Figura 21 Comparación de los perfiles de generación y consumo para edificación de viviendas múltiples.**

La producción total del sistema solar fotovoltaico de acuerdo a los resultados obtenidos por el software PVSYS para la edificación de viviendas múltiples estudiada en el presente documento es de 14233 kWh teniendo en cuenta las pérdidas (correspondientes a un 3% aproximadamente), de los cuales son autoconsumidos 8477 kWh por año y excedentes de energía inyectados a la red de 5756 kWh al año.

**Vivienda en hilera.**

Para la vivienda en hilera se tuvo en cuenta un total de 18, 3 menos que los estimados de forma teórica, esta variación puede deberse a la radiación que se tiene en cuenta en los diseños. La configuración de este sistema es de 2 strings con 9 paneles fotovoltaicos en serie por string, para una capacidad instalada de 7.2 kWp. Este diseño cuenta con 2 inversores (uno por string) del fabricante Huawei modelo SUN2000-3.68KTL con capacidad de 3.68 kW en AC cada uno, es decir 7.36 kW en AC en total. En la Tabla 5 se presenta el balance de energía

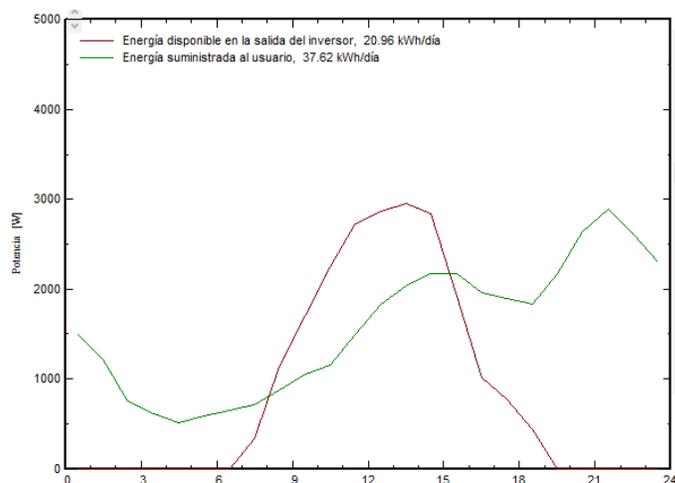
producida y suministrada de la solución fotovoltaica para esta tipología de vivienda. El resumen de la simulación completa se puede consultar en el anexo B.

**Tabla 5 Datos de producción solar y del sistema fotovoltaico para solución en viviendas en hilera**

**Balances and main results**

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	T_Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray MWh	E_User MWh	E_Solar MWh	E_Grid MWh	EFrGrid MWh
January	48.5	22.60	8.50	84.8	83.4	0.586	1.166	0.325	0.246	0.841
February	66.8	33.80	8.20	96.8	95.3	0.666	1.053	0.348	0.303	0.706
March	105.1	51.20	10.40	134.0	131.3	0.914	1.166	0.474	0.421	0.693
April	128.1	62.30	10.90	140.4	137.2	0.945	1.129	0.458	0.465	0.670
May	150.1	82.80	13.70	146.9	143.1	0.979	1.166	0.499	0.457	0.667
June	151.6	83.80	16.70	142.3	138.5	0.939	1.129	0.487	0.419	0.632
July	161.3	87.00	18.20	154.0	149.9	1.010	1.166	0.528	0.458	0.639
August	142.7	71.30	18.60	149.2	145.6	0.975	1.166	0.478	0.474	0.688
September	122.3	49.80	16.30	149.0	145.9	0.985	1.129	0.470	0.493	0.658
October	78.3	37.80	14.20	108.5	106.4	0.728	1.166	0.368	0.343	0.798
November	47.3	25.70	9.90	72.7	71.5	0.499	1.129	0.296	0.189	0.832
December	38.6	19.10	7.70	71.2	70.1	0.494	1.166	0.303	0.178	0.864
Year	1240.7	627.20	12.81	1449.7	1418.2	9.721	13.732	5.044	4.445	8.688

**Legends**  
 GlobHor Global horizontal irradiation  
 DiffHor Horizontal diffuse irradiation  
 T\_Amb Ambient Temperature  
 GlobInc Global incident in coll. plane  
 GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings  
 EArray Effective energy at the output of the array  
 E\_User Energy supplied to the user  
 E\_Solar Energy from the sun  
 E\_Grid Energy injected into grid  
 EFrGrid Energy from the grid



**Figura 22 Comparación de los perfiles de generación y consumo para viviendas en hilera.**

La producción de energía fotovoltaica abastecería aproximadamente entre un 50 y 60% del consumo eléctrico de esta tipología de vivienda. De acuerdo con los resultados obtenidos en PVSYS se evidencia que la solución fotovoltaica tiene una producción anual de 9498 kWh, de las cuales se autoconsumen anualmente 5044 kWh y se inyecta a la red una energía anual de 4445 kWh.

En la Tabla 6 se presenta el resumen de las soluciones fotovoltaicas para cada una de las tipologías de vivienda obtenidas mediante PVSYS.



**Tabla 6 Resumen configuración sistema fotovoltaico por tipología de vivienda**

Tipología de vivienda	Unifamiliar	Edificación de viviendas	Viviendas en Hileras
Producción de la instalación [kWh/día]	7.38	38.99	26.02
Producción de la instalación [kWh/año]	2692	14233	9498
Número total de paneles (Serie/Paralelo)	5	28	18
Configuración paneles	1 string - 5 en serie	2 Strings - 14 en serie	2 Strings - 9 en serie
Potencia de la instalación [kWp]	2.0	11.2	7.2
Potencia AC Inversor [kW]	2	12	7.36 (2 x 3.68 kW AC)

### 6.3. COSTOS DE INSTALACIÓN

Para los costos de instalación se realiza un Capex aproximado donde se tiene en cuenta además de los elementos principales de la instalación (paneles, contadores/medidores e inversores), aquellos elementos que permiten la implantación y protección del sistema fotovoltaico, como lo son las estructuras de soporte, en este caso se utilizarían ganchos salva tejas pues se implantarían en las cubiertas de los edificios, protecciones como lo son fusibles, protección magnetotérmica, protecciones de sobretensiones, etc. y el cableado. A continuación, se presentan los costos asociados consultados en distintas páginas de comercio fotovoltaico y fabricantes, para cada instalación dependiendo de cada topología de vivienda de acuerdo con los resultados obtenidos en el software PVSYS.

El costo aproximado para una instalación solar fotovoltaica de una vivienda unifamiliar corresponde a 1.63 €/Wp.

**Tabla 7 Capex aproximado de instalación solar para una vivienda unifamiliar**

Vivienda Unifamiliar			
Componente	Unidades	Precio unitario (Euro)	Precio Total (Euros)
Panel Solar JINKO 400 Wp	5	170.16	850.8
Inversor Huawei SUN2000-2KTL	1	764.72	764.72
Estructura de soporte Gancho salva tejas	20	6.9	138
Perfil montaje solar	10	25	250
Grapa Intermedia fijación panel solar	20	1.81	36.2
Cuadro de protecciones (Incluye todas las protecciones para la instalación fotovoltaica tanto para corriente alterna como corriente continua.)	1	350	350
Medidor bidireccional	1	135	135
Medidor de generación	1	128.24	128.24
Medidor de consumo usuario	1	600	600
Mano de obra	1	600	600
Cableado (DC) (Total Positivo y negativo)	10	0.6	6
Cableado (AC) (total)	20	0.22	4.4
<b>TOTAL</b>			<b>3,263.36 €</b>

El costo aproximado para la instalación solar fotovoltaica de la edificación de viviendas de 8 pisos con 4 plantas es de 1.06 €/Wp, a cada vivienda le correspondería una inversión aproximada de 1479 €.

**Tabla 8 Capex aproximado de instalación solar para un edificio de viviendas**

Edificación con viviendas			
Componente	Unidades	Precio unitario (Euro)	Precio Total (Euros)
Panel Solar JINKO 400 Wp	28	170.16	4764.48
Inversor Huawei SUN2000-12KTL	1	2241.86	2241.86
Estructura de soporte Gancho salva tejas	112	6.9	772.8
Perfil montaje solar	56	25	1400
Grapa Intermedia fijación panel solar	112	1.81	202.72
Cuadro de protecciones (Incluye todas las protecciones para la instalación fotovoltaica tanto para corriente alterna como corriente continua.)	1	350	350
Medidor bidireccional	1	135	135
Medidor de generación	1	128.24	128.24
Medidor de consumo usuario	8	128.24	1025.92
Mano de obra	1	750	750
Cableado (DC) (Total Positivo y negativo)	20	1.1	22
Cableado (AC) (total)	50	0.83	41.5
<b>TOTAL</b>			<b>11,834.52 €</b>

En el caso de las viviendas en hilera en estudio (4 viviendas en hilera), el costo por vatio pico instalado es aproximadamente de 1.20 €/Wp y le correspondería una inversión a cada vivienda de 2160 €.

**Tabla 9 Capex aproximado de instalación solar para vivienda en hilera**

Viviendas en Hilera			
Componente	Unidades	Precio unitario (Euro)	Precio Total (Euros)
Panel Solar JINKO 400 Wp	18	170.16	3062.88
Inversor Huawei SUN2000-3.68KTL	2	1067.15	2134.3
Estructura de soporte Gancho salva tejas	72	6.9	496.8
Perfil montaje solar	36	25	900
Grapa Intermedia fijación panel solar	72	1.81	130.32
Cuadro de protecciones (Incluye todas las protecciones para la instalación fotovoltaica tanto para corriente alterna como corriente continua.)	1	350	350
Medidor bidireccional	1	135	135
Medidor de generación	1	128.24	128.24
Medidor de consumo usuario	4	128.24	512.96
Mano de obra	1	750	750
Cableado (DC) (Total Positivo y negativo)	20	1.1	22
Cableado (AC) (total)	30	0.6	18
<b>TOTAL</b>			<b>8,640.50 €</b>

### 6.4. EVALUACIÓN ECONOMICA

Para la evaluación económica se tiene en cuenta la tarifa discriminada horaria, teniendo así una tarifa de 0.1530 €/kWh en las horas punta (12:00 a 22:00 horas) y en las horas valle de 0.0819 €/kWh (22:00 a 12:00 horas) [14], y para la tarifa de autoconsumo por compensación de excedentes se supone de 48.26 €/MWh (referente a la 12:00 horas) de acuerdo con Red Eléctrica de España en su plataforma "esios" [15]. Además, se utilizó los perfiles promedios anuales de consumo horarios de cada tipología descritos en el apartado 5 (se asume este consumo constante durante todo el año). El periodo de estudio de la evaluación económica es de 25 años correspondiente al tiempo aproximado de vida útil del sistema.

Se considera una reducción anual de eficiencia en los paneles solares del 0.4% [16] y debido a la incertidumbre de inserción de nuevas tecnologías que puedan abaratar o encarecer las tarifas, estas se consideran constantes en el tiempo.



De la Figura 23 a la Figura 25, se observa el flujo de caja acumulado para las tres tipologías de viviendas, encontrando que se tiene el retorno de la inversión en el año 13, año 8 y año 10 para la vivienda unifamiliar, la edificación de viviendas y las viviendas en hilera respectivamente.

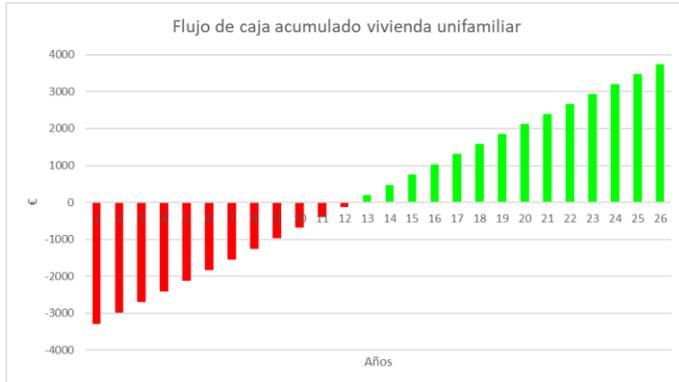


Figura 23 Flujo de caja acumulado para vivienda unifamiliar

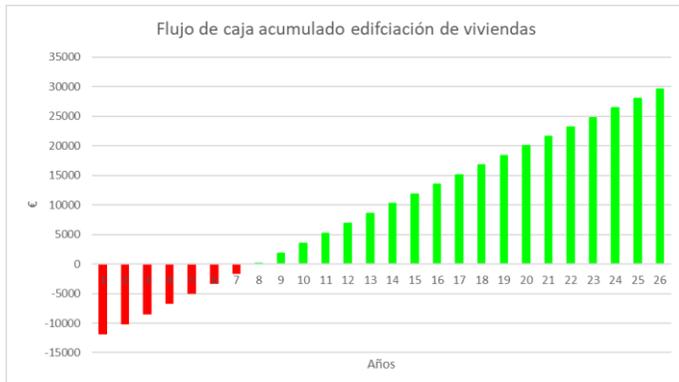


Figura 24 Flujo de caja acumulado para edificación de viviendas



Figura 25 Flujo de caja acumulado para viviendas en hilera.

Los ahorros que se estiman en promedio anualmente para la vivienda unifamiliar son 280 €, la edificación de viviendas un total de 1655 € y para las viviendas en hilera un total de 1018 €.

### 6.5. AHORRO DE CO2

Como se puede observar en la Figura 26 obtenida de la página web de Red Eléctrica de España [17], las emisiones y factor de emisión de CO<sub>2</sub> ha disminuido aproximadamente un 46% en los últimos 5 años como consecuencia de la descarbonización y de la acogida de España a las políticas medioambientales de la unión europea.

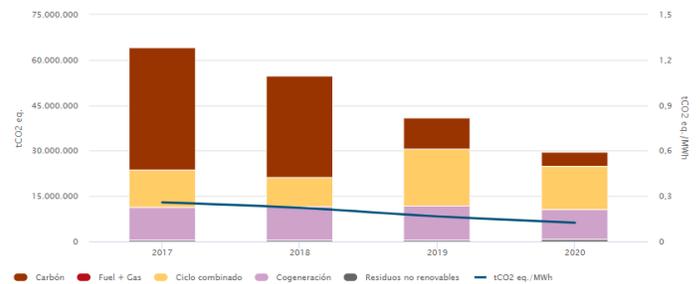


Figura 26 Emisiones y factor de emisión de co2 eq. De la generación (tCO<sub>2</sub> eq. | tCO<sub>2</sub> eq. /MWh), sistema eléctrico: peninsular

Con base en las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas en el año 2020 del sistema peninsular correspondiente a 29,558,672 tCO<sub>2</sub> eq con un factor de emisiones de 0.123 tCO<sub>2</sub> eq/ MWh [17], se estima los ahorros o disminución de emisiones para cada una de las tipologías de vivienda debido al uso de autogeneración fotovoltaica (teniendo en cuenta el deterioro anual de los paneles mencionados en el apartado anterior).

En la Figura 27, se evidencia los ahorros anuales por la producción de energía solar fotovoltaica para la vivienda unifamiliar en estudio. Se obtiene que tiene un ahorro anual de CO<sub>2</sub> promedio de 0.30 tCO<sub>2</sub> eq., y una disminución de emisiones a lo largo de su vida útil de 7.54 tCO<sub>2</sub> eq.

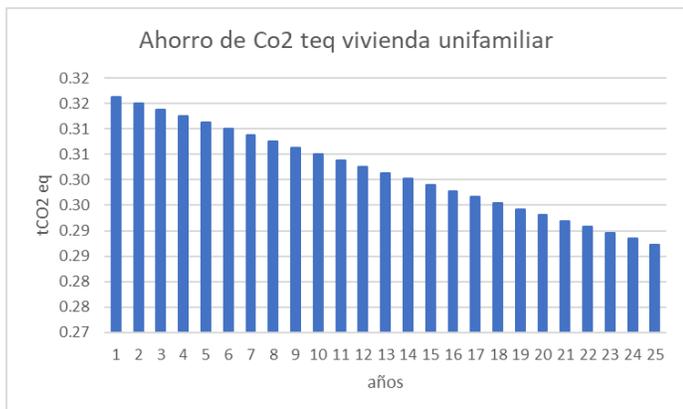


Figura 27 Disminución anual de emisiones de CO2 vivienda unifamiliar

El uso de energía solar fotovoltaica para autoconsumo en la edificación de viviendas objeto de este proyecto, permite una disminución de emisiones de CO2 en promedio anual de 1.67 tCO2 eq., y un total a lo largo de su vida útil de 41.73 tCO2 eq. Esto se puede observar en la Figura 28.

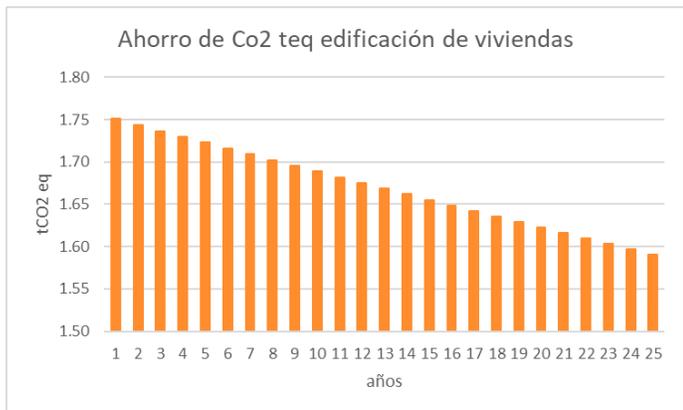


Figura 28 Disminución anual de emisiones de CO2 edificación de viviendas

Para las viviendas en hilera se estima un ahorro de CO2 en promedio anual de 1.11 tCO2 eq. y un total a lo largo de su vida útil de 27.82 tCO2 eq. debido al uso de energía solar fotovoltaica.

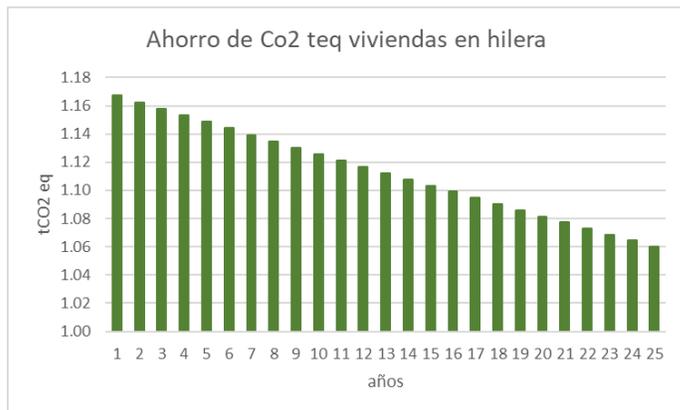


Figura 29 Disminución anual de emisiones de CO2 viviendas en hilera.

## 7. CONCLUSIONES

Como se pudo observar a lo largo del presente proyecto, si bien Asturias no es la comunidad autónoma con mayor radiación solar en España debido a su ubicación geográfica, evidencia que tiene un potencial solar fotovoltaico el cual se puede explotar y aprovechar, pues incluso al ser comparado con países como Alemania (pioneros en energía solar fotovoltaica) tiene una mayor irradiancia.

Asturias presenta un clima favorable para lo que respecta a la producción de energía por los paneles solares, pues estos no presentan una disminución de eficiencia entre los 20°C y 25°C y al contrario a mayor temperatura ambiente (30°) los paneles pueden reducir su eficiencia un 10%. De igual forma la mayoría de las cubiertas de las distintas tipologías de vivienda presentan ángulos favorables para la implantación de sistemas fotovoltaicos.

Considerando los tres casos representativos del tipo de edificación que puede haber en Asturias, se han estudiado los perfiles de consumo de cada uno de estas tipologías, la radiación y horas de día solares medios anuales en Asturias, se han modelado estos en el software PVsyst y se ha podido concluir que el uso de energía fotovoltaica en el Principado de Asturias es viable. Pues se puede evidenciar que el tiempo de retorno de la inversión de las soluciones fotovoltaicas acogidas a excedentes en Asturias, se amortiza antes de la finalización de su vida útil, siendo así, que el tiempo aproximado de retorno de la inversión para la vivienda unifamiliar en estudio es de 13 años, para la edificación de viviendas son 8 años y para las viviendas en hilera 10 años.



Además, se observa que la disminución de CO<sub>2</sub> anual es de 0.30 tCO<sub>2</sub> eq. para la vivienda unifamiliar, 1.67 tCO<sub>2</sub> eq. para la edificación de viviendas y 1.11 tCO<sub>2</sub> eq para las viviendas en hilera. Durante toda la vida útil de la instalación solar en una vivienda unifamiliar, edificación de viviendas y vivienda en hilera, se dejarían de emitir un total de 7.54 tCO<sub>2</sub> eq, 41.4 tCO<sub>2</sub> eq. y 27.82 tCO<sub>2</sub> eq. respectivamente.

También, es de resaltar, que los avances tecnológicos que se están llevando a cabo respecto a la producción de paneles solares están haciendo reducir los costos de producción lo que implicaría que la amortización en un futuro pueda ser menor a los tiempos encontrados en el presente estudio, pues el costo de los paneles solares corresponde entre el 40% y 55% de la inversión del sistema fotovoltaico.

Por último, La implantación del nuevo sistema tarifario de energía eléctrica del 1 de junio del 2021, favorecería aún más el uso de energía solar fotovoltaica para autoconsumo, ya que en las nuevas tarifas se pasa de la discriminación de dos periodos a tres periodos, donde en dos de los tres periodos el precio va a ser el más elevado y estos periodos coinciden con horas donde se puede tener un valor elevado de radiación solar. El presente proyecto se realizó con la normativa y tarifas en vigor antes del mes de junio.

## 8. TRABAJOS FUTUROS

- Valorar la incorporación de los paneles fotovoltaicos con bomba de calor en lugar de paneles solares térmicos.
- Viabilidad de uso de paneles fotovoltaicos como mecanismo de ahorro energético/co<sub>2</sub> implementando el nuevo sistema tarifario de tres periodos.
- Analizar el uso y viabilidad de paneles fotovoltaicos como medios de alimentación de cargadores de coches eléctricos en Asturias (cargadores de coches solares).
- Estudiar la viabilidad y rentabilidad de nuevas construcciones que incorporen energía solar fotovoltaica.
- Analizar la generación distribuida en Asturias y la visión como una Smart City (uso de Smart Grids)

## 9. AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primero que todo a Dios. Además, agradecer a mi madre, su esposo y mis hermanos quienes me apoyaron y motivaron a irme de mi país natal para realizar mi posgrado. Así mismo agradezco a Marta y a Yuri, mi familia aquí en España, mi apoyo y guía. También quiero agradecer a mi tutor de TFM, Miguel Angel Rey, por su tiempo y conocimiento aportado para hacer posible este proyecto. Agradezco además

a la Universidad de Oviedo y a su cuerpo docente por la enseñanza otorgada, al Principado de Asturias y Gijón, por acogerme en su ciudad para vivir y dejarme buenas experiencias. Así mismo, agradezco a mis compañeros de máster quienes sin su ayuda no hubiera podido lograr este objetivo, a mis colegas de piso por hacer agradable y divertida mi estancia en Gijón, y por último y no menos importante a mi pareja Jerly Cartagena por su apoyo incondicional, por hacer que cada día valiera el esfuerzo, sin ella llegar hasta este punto hubiera sido más difícil.

## 10. REFERENCIAS

- [1] Diario Oficial de la Unión Europea, «DIRECTIVA 2012/27/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO,» 2012.
- [2] Gobierno de España, «Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico,» [En línea]. Available: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/edificacion.aspx>. [Último acceso: 18 02 2021].
- [3] Gobierno de España, «Ministerio para la transición Ecológica y el Reto Demográfico,» [En línea]. Available: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/definicion-difusos.aspx>. [Último acceso: 20 2 2021].
- [4] IDAE, «PROYECTO SECH-SPAHOUSEC Análisis del consumo energético del sector residencial en España,» España, 2011.
- [5] SOLARGIS, «SOLARGIS,» [En línea]. Available: <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/europe>. [Último acceso: 02 03 2021].
- [6] Fundación Asturiana de la Energía, «Balance Energético del Principado de Asturias,» Asturias, 2018.
- [7] EDP, «Diseño de las instalaciones fotovoltaicas para autoconsumo y oportunidades en Asturias,» Oviedo, 2021.
- [8] IDAE, «AUTOCONSUMO,» España, 2020.
- [9] Gobierno de España, «Real Decreto 244/2019,» España, 2019.
- [10] IDAE, «Guía Profesional de Tramitación del Autoconsumo,» Madrid, 2020.
- [11] RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, «Cómo consumimos electricidad,» [En línea]. Available: [https://www.ree.es/sites/default/files/interactivos/como\\_consumimos\\_electricidad/preguntas.html](https://www.ree.es/sites/default/files/interactivos/como_consumimos_electricidad/preguntas.html). [Último acceso: 24 Marzo 2021].
- [12] Selectra, «¿Cuál es el número de horas solares anuales en España por provincia?,» [En línea]. Available: <https://selectra.es/autoconsumo/info/provincias>. [Último acceso: 2021 04 1].
- [13] M. P. C. García, Tablas sobre fundamentos de la radiación solar, Oviedo: Universidad de Oviedo, 2015.



- [14] Selectra, «Tarifasgasluz,» [En línea]. Available: <https://tarifasgasluz.com/faq/discriminacion-horaria>. [Último acceso: 13 04 2021].
- [15] Red Eléctrica de España, «esios,» [En línea]. Available: [https://www.esios.ree.es/es/analisis/1739?vis=2&start\\_date=16-03-2021T00%3A00&end\\_date=16-03-2021T23%3A50&compare\\_start\\_date=15-03-2021T00%3A00&groupby=hour&compare\\_indicators=1013,1014,1015&zoom=6&latlng=41.47566020027821%2C-3.01025390625](https://www.esios.ree.es/es/analisis/1739?vis=2&start_date=16-03-2021T00%3A00&end_date=16-03-2021T23%3A50&compare_start_date=15-03-2021T00%3A00&groupby=hour&compare_indicators=1013,1014,1015&zoom=6&latlng=41.47566020027821%2C-3.01025390625). [Último acceso: 14 04 2021].
- [16] Solarplus.es, «Solar Plus,» [En línea]. Available: <https://solarplus.es/vida-util-de-paneles-solares>. [Último acceso: 14 04 2021].
- [17] RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, «EMISIONES Y FACTOR DE EMISIÓN DE CO2 EQ. DE LA GENERACIÓN (tCO2 eq. | tCO2 eq./MWh) | SISTEMA ELÉCTRICO:Peninsular,» [En línea]. Available: [https://www.ree.es/es/datos/generacion/no-renovables-detalle-emisiones-CO2?start\\_date=2017-01-01T00:00&end\\_date=2020-12-31T23:59&time\\_trunc=year&systemElectric=peninsular](https://www.ree.es/es/datos/generacion/no-renovables-detalle-emisiones-CO2?start_date=2017-01-01T00:00&end_date=2020-12-31T23:59&time_trunc=year&systemElectric=peninsular). [Último acceso: 16 04 21].

## ANEXOS

### Anexo A Tramitación de autoconsumo

Instalaciones en autoconsumo SIN EXCEDENTES			
<b>1. Diseño de la instalación</b>			
BT – P≤10 kW	BT – P>10 kW	AT	
Memoria técnica	Proyecto técnico	Proyecto técnico	
			Distribuidora
<b>2. Permisos de acceso y conexión / Auales o garantías</b>			
Exentas del permiso. Necesario solicitar CAU			
			Admón. autonómica
<b>3. Autorizaciones ambientales y de utilidad pública</b>			
BT – P≤100 kW	BT – P>100 kW	AT	
Consultar CC.AA	Consultar CC.AA	Consultar CC.AA	
			Admón. autonómica
<b>4. Autorización administrativa previa y de construcción</b>			
BT – P≤100 kW	BT – P>100 kW	AT	
Exentas	Consultar CC.AA.	Consultar CC.AA.	
			Admón. local
<b>5. Licencia de obras</b>			
Consultar la normativa particular del Ayuntamiento del emplazamiento elegido			
			Admón. autonómica
<b>6. Ejecución de la instalación</b>			
			Admón. autonómica
<b>7. Inspección inicial e inspecciones periódicas</b>			
BT – P≤100 kW	BT – P>100 kW	AT	
Consultar CC.AA	Consultar CC.AA	Consultar CC.AA	
			Admón. autonómica
<b>8. Certificados de instalación y/o certificados fin de obra</b>			
BT – P≤10 kW	BT – P>10 kW	AT	
Certificado instalación	Certificado instalación Certificado fin de obra	Documentación puesta en servicio AT según el Reglamento AT	
			Admón. autonómica
<b>9. Autorización explotación</b>			
BT – P≤100 kW	BT – P>100 kW	AT	
No necesita trámite Certificado instalación	Consultar CC.AA	Consultar CC.AA	
			Distribuidora o Comercializadora
<b>10. Contrato de acceso</b>			
BT – P<100 kW	BT – P≤100 kW	AT	
Exentas – Comunicación modificación contrato a través de las CC.AA	Exentas – Comunicación cambio contrato	Exentas – Comunicación cambio contrato	
			Distribuidora o Comercializadora
<b>11. Contrato de suministro de energía servicios auxiliares</b>			
Exentas			
			Admón. local
<b>12. Licencia de actividad</b>			
Exentas. Consultar normativa particular del Ayuntamiento del emplazamiento elegido			
			Distribuidora o Comercializadora
<b>13. Acuerdo de reparto y Contrato compensación excedentes</b>			
Individual	No aplica		
Colectiva	No existe contrato. Notificación a la ED del acuerdo de reparto y compensación		
			Admón. autonómica
<b>14. Inscripción en el Registro Autonómico de Autoconsumo</b>			
BT – P<100 kW	BT – P≥100 kW	AT	
Trámite de oficio en las CC.AA. donde exista	Sí, si existe	Sí, si existe	
			Admón. autonómica
<b>15. Inscripción en el Registro Administrativo de Autoconsumo de energía eléctrica</b>			
BT – P≤100 kW	BT – P>100 kW	AT	
Trámite de oficio realizado a través de las CC.AA., que enviarán la información al Ministerio por vía telemática			
			Admón. autonómica
<b>16. Inscripción en el Registro Administrativo de Instalaciones Productoras de Energía Eléctrica (RAIPRE)</b>			
No aplica			
			Comercializadora
<b>17. Contrato de representación en mercado</b>			
No aplica			



Anexo B resultados de simulación PVsyst  
 Anexo C Datasheet equipos fotovoltaicos

Instalaciones en autoconsumo CON EXCEDENTES					
<b>1. Diseño de la instalación</b>					
BT – P≤10 kW	BT – P>10 kW	AT			
Memoria técnica	Proyecto técnico	Proyecto técnico			
					Distribuidora
<b>2. Permisos de acceso y conexión / Aavales o garantías</b>					
Siempre debe solicitarse el CAU					
Suelo urbano con dotaciones y servicios requeridos por la legislación			Otra tipología de suelo		
Permiso de acceso y conexión					
BT – P≤15 kW	BT – P>15 kW	AT	BT	AT	
Exentas	Sí	Sí	Sí	Sí	
Aavales o garantías – 40 €/kW					
BT – P≤15 kW	BT – P>15 kW	AT	BT – P≤10 kW	BT – P>10 kW	AT
Exentas	Sí	Sí	Exentas	Sí	Sí
Tramitación de acceso y conexión para aquellas instalaciones que lo precisen					
BT – P≤15 kW	BT – 15 kW<P<100kW	AT			
RD 1699/2011	RD 1699/2011	RD 1955/2000 - RD 1699/2011			
					Admón. autonómica
<b>3. Autorizaciones ambientales y de utilidad pública</b>					
BT – P≤100 kW	BT – P>100 kW	AT			
Consultar CC.AA	Consultar CC.AA	Consultar CC.AA			
					Admón. autonómica
<b>4. Autorización administrativa previa y de construcción</b>					
BT – P≤100 kW	BT – P>100 kW	AT			
Exentas	Sí	Sí			
					Admón. local
<b>5. Licencia de obras</b>					
Consultar la normativa particular del Ayuntamiento del emplazamiento elegido					
<b>6. Ejecución de la instalación</b>					
					Admón. autonómica
<b>7. Inspección inicial e inspecciones periódicas</b>					
BT – P≤100 kW	BT – P>100 kW	AT			
Consultar CC.AA	Consultar CC.AA	Consultar CC.AA			
					Admón. autonómica
<b>8. Certificados de instalación y/o certificados fin de obra</b>					
BT – P≤10 kW	BT – P>10 kW	AT			
Certificado instalación	Certificado instalación Certificado fin de obra	Documentación puesta en servicio AT según el Reglamento AT			
					Admón. autonómica
<b>9. Autorización explotación</b>					
BT – P≤10 kW	BT – P>10 kW	AT			
No necesita trámite Certificado instalación	Sí Consultar CC.AA	Sí Consultar CC.AA			
					Distribuidora o Comercializadora
<b>10. Contrato de acceso</b>					
BT – P<100 kW	BT – P≥100 kW	AT			
Exentas – Comunicación modificación contrato a través de las CC.AA	Exentas – Comunicación cambio contrato	Exentas – Comunicación cambio contrato			
					Distribuidora o Comercializadora
<b>11. Contrato de suministro de energía servicios auxiliares</b>					
Obligatorio salvo los casos donde los servicios auxiliares se consideren despreciables. Se pueden unificar con el contrato de consumo en ciertos casos					
					Admón. local
<b>12. Licencia de actividad</b>					
Acogidas a COMPENSACIÓN Exentas. Consultar normativa Ayuntamiento					
No acogidas a COMPENSACIÓN Sí. Consultar normativa Ayuntamiento					
					Distribuidora o Comercializadora
<b>13. Acuerdo de reparto y Contrato compensación excedentes</b>					
Individuales	Acogidas a COMPENSACIÓN	Contrato de compensación de excedentes			
	No acogidas a COMPENSACIÓN	No aplica			
Colectivas	Acogidas a COMPENSACIÓN	Acuerdo de reparto + Contrato compensación			
	No acogidas a COMPENSACIÓN	Acuerdo de reparto			
					Admón. autonómica
<b>14. Inscripción en el Registro Autonómico de Autoconsumo</b>					
BT – P<100 kW	BT – P≥100 kW	AT			
Trámite de oficio en las CC.AA. donde exista	Sí, si existe	Sí, si existe			
					Admón. autonómica
<b>15. Inscripción en el Registro Administrativo de Autoconsumo de energía eléctrica</b>					
BT – P≤100 kW	BT – P>100 kW	AT			
Trámite de oficio realizado a través de las CC.AA., que enviarán la información al Ministerio por vía telemática					
					Admón. autonómica
<b>16. Inscripción en el Registro Administrativo de Instalaciones Productoras de Energía Eléctrica (RAIPRE)</b>					
Acogidas a COMPENSACIÓN No aplica					
No acogidas a COMPENSACIÓN Sí. Para P≤100 kW trámite de oficio por el Ministerio					
					Comercializadora
<b>17. Contrato de representación en mercado</b>					
Acogidas a COMPENSACIÓN No aplica					
No acogidas a COMPENSACIÓN Sí.					