

Proyecto Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Análisis de Rentabilidad del Autoconsumo
Fotovoltaico para un Consumidor del Sector
Sanitario.

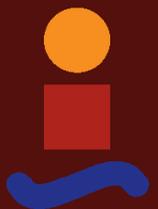
Autor: Pablo Luque Ruiz

Tutor: Juan Manuel Roldán Fernández

Manuel Burgos Payán

Dpto. Ingeniería Eléctrica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2022



Proyecto Fin de Carrera
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Análisis de Rentabilidad del Autoconsumo Fotovoltaico para un Consumidor del Sector Sanitario.

Autor:

Pablo Luque Ruiz

Tutor:

Juan Manuel Roldán Fernández

Manuel Burgos Payán

Dpto. de Ingeniería Eléctrica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2022

Trabajo Fin de Grado: Análisis de Rentabilidad del Autoconsumo Fotovoltaico para un Consumidor del Sector Sanitario.

Autor: Pablo Luque Ruiz

Tutor: Juan Manuel Roldán Fernández
Manuel Burgos Payán

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2013

El Secretario del Tribunal

Agradecimientos

Me gustaría dedicar estas palabras en primer lugar a mis padres, pilares fundamentales de mi vida y apoyo incondicional tanto en los logros como en las adversidades. A mi hermana, guía indispensable en este camino. A mis amigos por su apoyo en los días más oscuros y por las risas en los días felices. Un especial agradecimiento a mi tutor, Don Juan Manuel Roldán Fernández, por su paciencia y astucia para resolver mis dudas. Por último, me quiero agradecer a mí mismo por nunca darme por vencido, incluso cuando estuve a punto de desistir.

Resumen

Desde mediados del año 2021 y hasta principios de este año 2022 (fecha en la que se escribe esta memoria) los precios de la energía eléctrica han experimentado un elevado incremento y que ha superado cualquier previsión. En un contexto donde hasta hace poco era improbable superar los 180 €/MWh en el mercado mayorista resulta que es cada vez más frecuente encontrar horas donde el precio de la electricidad supera los 200 €/MWh. Esta situación hace que las energías renovables y en especial el autoconsumo constituyan una realidad técnica y económica cada vez más presente en nuestros días. Este trabajo fin de grado pretende explorar la viabilidad que actualmente tendría una instalación fotovoltaica de autoconsumo en un consumidor de tipo comercial o de los servicios sanitarios. Partiendo de la ubicación del consumidor, sus perfiles de consumo y la información de la tarifa usada por el mismo se pretende evaluar y cuantificar distintas soluciones de autoconsumo buscando un equilibrio tecno-económico.

Abstract

From the middle of the year 2021 and until the beginning of this year 2022 (date on which this report is written) the prices of electrical energy have experienced a high increase and that has exceeded any forecast. In a context where until recently it was unlikely to exceed €180/MWh in the wholesale market, it turns out that it is increasingly common to find hours where the price of electricity exceeds €200/MWh. This situation means that renewable energies and especially self-consumption constitute a technical and economic reality that is increasingly present today. This end-of-degree project aims to explore the viability that a self-consumption photovoltaic installation would currently have in a consumer of a commercial type or of health services. Starting from the location of the consumer, their consumption profiles and the information on the rate used by them, the aim is to evaluate and quantify different self-consumption solutions seeking a techno-economic balance.

Índice

Agradecimientos	vii
Resumen	ix
Abstract	xi
Índice	xiii
Índice de Tablas	xv
Índice de Figuras	xvi
1 Introducción	11
1.1 <i>Objetivos de trabajo.</i>	11
1.2 <i>Tipos de autoconsumo</i>	12
1.2.1 <i>Autoconsumo sin excedente.</i>	12
1.2.2 <i>Autoconsumo con excedentes.</i>	12
1.3 <i>Ventajas e inconvenientes del autoconsumo.</i>	13
1.4 <i>Situación de autoconsumo en España y otros países</i>	13
1.5 <i>Mercado eléctrico.</i>	16
1.6 <i>Tarifas eléctricas</i>	16
2 Definición del caso	19
2.1 <i>Paneles fotovoltaicos e inversores</i>	20
2.2 <i>Factura sin ahorro</i>	21
3 Autoconsumo con excedente	24
3.1 <i>Elección de la configuración fotovoltaica</i>	24
3.2 <i>Resultados de la generación frente al consumo</i>	27
3.3 <i>Facturación para 100 kW</i>	28
4 Autoconsumo sin excedente	29
4.1 <i>Generación igual al mínimo consumo anual</i>	29
4.1.1 <i>Elección del sistema FV</i>	30
4.1.2 <i>Curva consumo-generación</i>	30
4.1.3 <i>Factura</i>	31
4.2 <i>Generación igual a la media de los consumos medios mensuales</i>	32
4.2.1 <i>Elección del sistema FV</i>	32
4.2.2 <i>Curva consumo-generación</i>	33
4.2.3 <i>Factura</i>	34
5 Análisis de rentabilidad	36
5.1 <i>Valor actual neto (VAN)</i>	38
5.2 <i>Tasa Interna de Retorno (TIR)</i>	40
5.3 <i>Periodo de retorno o Payback (PB)</i>	42
5.4 <i>Análisis de los distintos proyectos</i>	44
6 CONCLUSIÓN	48
7 ANEXO I. Consumos del centro sanitario	52
8 Anexo II. Cálculo de la potencia de los paneles fotovoltaicos.	58

9	ANEXO III. Código para el cálculo de las facturas	59
10	ANEXO IV. Cálculo del van de los proyectos	64
11	ANEXO V. Cálculo del payback de los proyectos	65
12	Costes adicionales	66
13	Bibliografía	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tarifa 6.XTD	17
Tabla 2: Tarifa Eléctrica asociada al centro sanitario	20
Tabla 3: Características de los paneles fotovoltaicos.	20
Tabla 4: Características de los inversores disponibles	20
Tabla 5: Energía consumida y coste por periodos anuales para el centro sin PV	21
Tabla 6: Potencia consumida por periodo en kW	22
Tabla 7: Facturación de la potencia por periodo en €	23
Tabla 8: Facturación anual sin PV instalado en el centro sanitario	23
Tabla 9: Resultado de los equipos limitando solo el área máxima	26
Tabla 10: Resultado de los equipos para limitación de 100kWh	26
Tabla 11: Energía consumida y coste por periodos anuales para el centro con un PV de 100 kWh	28
Tabla 12: Facturación para 100 kWh	28
Tabla 13: Resultado de los equipos para limitación de 190 kWh	30
Tabla 14: Energía consumida y coste anuales para el centro sanitario con un PV de 190 kWh	32
Tabla 15: Factura anual para un PV de 190 kW	32
Tabla 16: Media de los consumos medios mensuales en kWh	33
Tabla 17: Resultado de los equipos para limitación de 385 kWh	33
Tabla 18: Energía consumida y coste anuales para el centro sanitario con un PV de 385 kWh	35
Tabla 19: Factura anual para un PV de 385 kWh	35
Tabla 20: Factura para todos los casos desde 100 kWh a 600 kWh	38
Tabla 21: Cálculo del VAN para los casos desde 100 kW hasta 600 kW para una tasa de interés de 4%	39
Tabla 22: Cálculo del TIR para los casos desde 100 kW hasta 600 kW	41
Tabla 23: Payback de todos los casos desde 100 kW hasta 600 kW	43
Tabla 24: Costes finales del proyecto	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Objetivo de instalación de generación destinada al autoconsumo en España para los años 2025 y 2030	11
Figura 2: Evolución de la potencia instalada en MW para autoconsumo en Europa desde 2014 hasta 2018	13
Figura 3: Evolución del autoconsumo desde el año 2015 hasta 2021 en España	14
Figura 4: Comparación de la instalación de energía fotovoltaica en Europa entre 2004 y 2016	15
Figura 5: Evolución del precio del MWh históricamente desde 1998 hasta la actualidad	16
Figura 6: Distribución horaria de los periodos de las tarifas 6.XTD	17
Figura 7: Distribución de categorías de periodos tarifarios según el mes y la localización geográfica	18
Figura 8: Consumo eléctrico diario en el mes de enero en kWh	19
Figura 9: Esquema típico de una instalación de autoconsumo acogida a excedente	24
Figura 10: Diagrama de flujo para el cálculo de la potencia aportada por los paneles	25
Figura 11: Consumo frente a generación mensual	27
Figura 12: Consumo diario frente a generación diaria el 15 de enero en kWh	28
Figura 13: Esquema típico de una instalación de autoconsumo sin excedente	29
Figura 14: Consumo frente a generación mensual en kWh	31
Figura 15: Consumo frente a generación diaria en kWh	31
Figura 16: Consumo frente a generación mensual en kWh	34
Figura 17: Consumo frente a generación diaria en kWh	34
Figura 18: Diagrama de flujo del cálculo de la factura	37
Figura 19: Evolución del VAN con el aumento de la potencia instalada en el PV	40
Figura 20: Evolución del TIR con el aumento de la potencia instalada en el PV	42
Figura 21: Evolución del payback con el aumento de la potencia instalada en el PV	44
Figura 22: Generación frente a consumo el día 24 de noviembre para los casos de 100, 200, 400 y 600 kWh	45
Figura 23: Generación frente a consumo el día 6 de agosto para los casos de 100, 200, 400 y 600 kWh	45
Figura 24: Generación frente a consumo el día 14 de enero para los casos de 100, 200, 400 y 600 kW	46
Figura 25: Evolución del VAN con el aumento de la potencia desde 500 kWh hasta 1000 kWh	49
Figura 26: Diferencia entre consumo y generación para las instalaciones desde 0 kWh hasta 2MW	50
Figura 27: Consumo en enero de 2019	52
Figura 28: Consumo en febrero de 2019	52
Figura 29: Consumo en marzo de 2019	53

Figura 30: Consumo en abril de 2019	53
Figura 31: Consumo en mayo de 2019	54
Figura 32: Consumo en junio de 2019	54
Figura 33: Consumo en julio de 2019	55
Figura 34: Consumo en agosto de 2019	55
Figura 35: Consumo en septiembre de 2019	56
Figura 36: Consumo en octubre de 2019	56
Figura 37: Consumo en noviembre de 2019	57
Figura 38: Consumo en diciembre de 2019	57

1 INTRODUCCIÓN

La generación destinada al autoconsumo es una opción que hoy día muchas empresas están valorando debido al precio que está alcanzando la luz. El ahorro en la factura de la luz es un objetivo que toda empresa persigue y el autoconsumo es una solución real a este problema. El autoconsumo viene de la mano de las energías renovables, lo cual supondrá la descarbonización del sector, aunque implique a su vez nuevos retos de control y predicción dado que sabemos que las energías renovables no son constantes en el tiempo.

Desde el punto de vista del consumidor final, el autoconsumo se vuelve una alternativa económica y ventajosa frente al consumo tradicional de conexión con la red. Esto afecta directamente al mercado produciendo un efecto positivo al consumidor general puesto que la oferta de energía sube procedente de excedentes vendida a menor coste, y una bajada de la demanda de abastecimiento debido a la propia energía auto consumida.

Según la Unión Española Fotovoltaica (UNEF) en el año 2019 se instalaron 459 MW frente a los 235 MW instalados en el año 2018. En 2020, a pesar de la pandemia provocada por la COVID-19, se han instalado 596 MW lo que supone un incremento del 30%, destacando el incremento en el sector residencial que representa un 19% de los MW fotovoltaicos instalados. Por su parte, la Asociación de Empresas de Energías Renovables (APPA) informa que en 2020 se instalaron 623 MW de potencia de autoconsumo.

Para el año 2030, el objetivo es asegurar el despliegue efectivo del autoconsumo, eliminando las barreras existentes para su implantación y fomentando su desarrollo y aplicación en todos los sectores productivos, mejorando la competitividad industrial y aportando a la ciudadanía independencia energética. Es además una herramienta para mitigar la pobreza energética, y una palanca para la generación de actividad y empleo de forma directa e indirecta a partir de las distintas cadenas de valor locales y el ahorro en costes energéticos de industria y consumidores. [1].

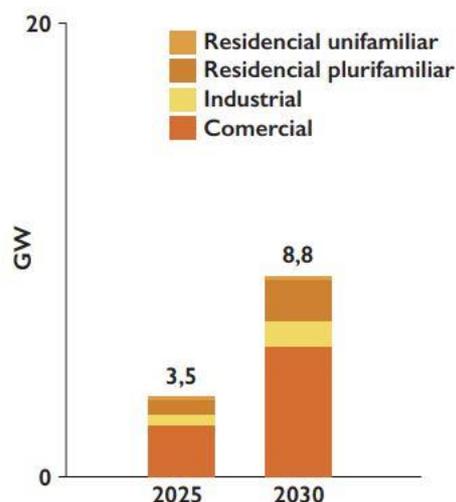


Figura 1: Objetivo de instalación de generación destinada al autoconsumo en España para los años 2025 y 2030

1.1 Objetivos de trabajo.

El objetivo principal del proyecto es realizar un análisis económico de rentabilidad sobre la instalación de un

parque fotovoltaico destinado al autoconsumo en un consumidor real de la red eléctrica. Se analizarán las distintas opciones que la normativa ofrece de manera que, a la vista de los resultados, debatiremos que opción encaja mejor en nuestro caso de estudio. Como bien hemos dicho, es un análisis económico por lo que la rentabilidad y el ahorro en la factura económica dado el alto precio que se registra de la luz actualmente es primordial. Las opciones que se descarten también serán comentadas y analizadas para la posible implantación en otro tipo de caso en el que sea más favorable sin entrar en mucho detalle.

La integración de energía limpia en el sistema eléctrico es otro de los objetivos, puesto que estaríamos disminuyendo la demanda de energía eléctrica procedente de otros tipos de fuentes no renovables como centrales nucleares o centrales de ciclo combinado. Esto ayudaría en el tan ansiado objetivo de descarbonización del sistema de producción de energía eléctrica que buscan todos los países actualmente.

1.2 Tipos de autoconsumo

El Real decreto 244/2019 tiene como objetivo la regulación de las condiciones técnicas, administrativas y económicas para las distintas modalidades de autoconsumo de energía eléctrica, definidas en el artículo 9 de la Ley 24/2013 del Sector Eléctrico.

Este Real decreto nos establece la siguiente clasificación:

1.2.1 Autoconsumo sin excedente.

Instalaciones de autoconsumo conectadas o no a la red de distribución/transporte y que disponen de un mecanismo de anti vertido que impide la inyección de energía eléctrica a la Red. En este caso, toda la energía generada se consume, se almacena o en el caso más desfavorable, se desperdicia.

1.2.2 Autoconsumo con excedentes.

Instalaciones de autoconsumo conectadas a la red de distribución/transporte que tienen la posibilidad de inyectar energía a la Red. En este caso, la energía sobrante se vierte a la red con su pertinente retribución económica.

Dentro de este grupo podemos distinguir dos tipos.

1.2.2.1 Autoconsumo con excedente acogida a compensación:

Instalaciones con excedente en los que el consumidor utiliza la energía procedente de su propia instalación de consumo pudiendo comprar energía a la red cuando sea necesario. En el caso que el consumidor tenga excedente de su instalación de autoconsumo, podrá verter la energía sobrante a la red compensando la factura a final de mes con la comercializadora. La energía vertida tiene un precio aproximadamente de la mitad del precio de mercado [2].

Para que un consumidor pueda acogerse a esta opción debe cumplir con los siguientes condicionante:

- La fuente de energía primaria debe ser de origen renovable.
- La potencia total de las instalaciones de producción asociadas no sea superior a 100 kW.
- En su caso, el consumidor haya suscrito un único contrato de suministro para el consumo asociado y para los consumos auxiliares con una empresa comercializadora.
- El consumidor y productor asociado hayan suscrito un contrato de compensación de excedentes de autoconsumo definido en el artículo 14 del Real Decreto 244/2019.
- La instalación de producción no esté sujeta a la percepción de un régimen retributivo adicional o específico.

1.2.2.2 Autoconsumo con excedente no acogida a compensación:

Instalaciones con excedente en los que el consumidor utiliza la energía procedente de su propia instalación de consumo pudiendo comprar energía a la red cuando sea necesario pero que no cumple con los requisitos mostrados en el apartado anterior

1.3 Ventajas e inconvenientes del autoconsumo.

- Ventajas:

El autoconsumo tiene la clara ventaja de contribuir a la descarbonización de la generación eléctrica gracias a que su fuente de energía primaria son las energías renovables.

La introducción de generación para el autoconsumo en una empresa implica un ahorro energético mensual importante que se ve reflejado en la facture. Tiene un tiempo de retorno de la inversión no muy elevado que hace que sea una opción factible que implantar en una empresa.

Ofrece la ventaja de menores pérdidas por transporte de energía, puesto que lo normal es realizar la instalación en las cercanías del consumidor y, por tanto, mejora la eficiencia.

Los beneficios del autoconsumo son tan evidentes que como se muestra en Figura 2: Evolución de la potencia instalada en MW para autoconsumo en Europa desde 2014 hasta 2018 [3], podemos ver que la evolución en potencia instalada destinada al autoconsumo no ha cesado de crecer desde su aparición.

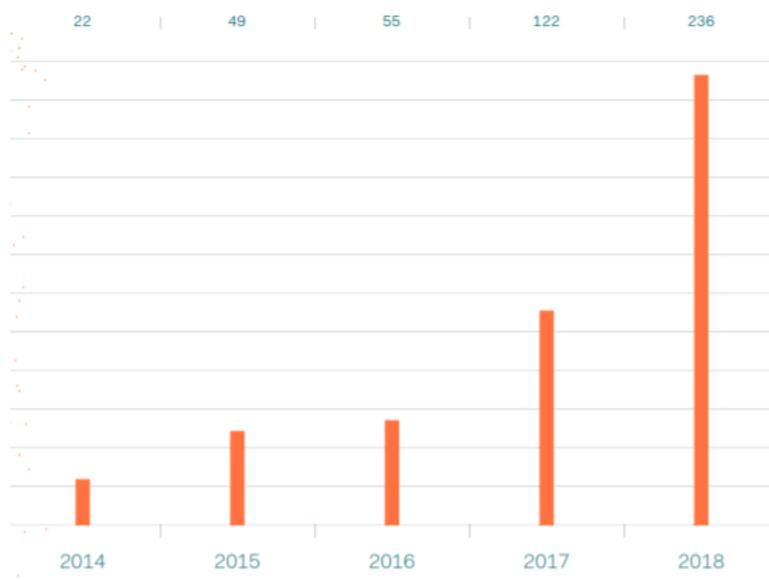


Figura 2: Evolución de la potencia instalada en MW para autoconsumo en Europa desde 2014 hasta 2018

- Inconvenientes:

El mayor inconveniente de este tipo de instalaciones es la variabilidad de la energía, puesto que no se puede asegurar una generación constante en el tiempo debido al carácter renovable de la fuente primaria.

Otro inconveniente es la inversión inicial. Aunque es conocido que el tiempo de retorno de la inversión es bueno, el diseño y la implementación de este tipo de instalaciones tiene un coste económico importante que no todas las empresas pueden permitirse. En ocasiones, las empresas prefieren optar por la opción con la tasa de retorno de la inversión más corta, puesto que desean una inversión con resultados más instantáneos.

1.4 Situación de autoconsumo en España y otros países

Desde 2005 las energías renovables han ido creciendo con celeridad gracias al apoyo recibido por parte de incentivos nacionales y europeos, y con esto, ha surgido el concepto de autoconsumo. Estos incentivos han conseguido que muchos hogares europeos funcionen a base de energía renovable, no solo fotovoltaica (casos

como eólica o biomasa). En 2015 en Europa la proporción de fuentes renovables ha aumentado en un 17%, que comparado con el 9% que se registraba en 2005, es un cambio considerable. Todos estos avances en la instalación e investigación de renovables, que podemos ver en la Figura 3, van de la mano del autoconsumo que funciona con energía solar.

En España, hasta 2015 no se hizo una primera legislación sobre el autoconsumo. Esta legislación además fue duramente criticada puesto que imponía un impuesto sobre la conexión a la red si se realizaba este tipo de proyectos. Dicho impuesto generó mucha discordia puesto que no es posible subsistir energéticamente hablando únicamente a base de autogeneración para el caso de la fotovoltaica. No obstante, en 2018, La Unión Europea redactó unas líneas maestras para luchar contra el cambio climático, impulsando tecnologías como el autoconsumo y las energías renovables, obligando en cierta manera al gobierno nacional a abolir el llamado “impuesto al sol” [4]. A pesar de seguir en la cola de la instalación de autoconsumo en comparación con nuestros vecinos, España tiene un ritmo de instalación anual de 250 MW destinado al autoconsumo, de los cuales sólo el 19% es destinado a los hogares, dejando así un 81% de la potencia instalada de uso exclusivo de empresas [5].

La tecnología más empleada para autoconsumo en España es la solar fotovoltaica. En 2020 se instalaron cerca de 600 MW de autoconsumo solar y se estima que hay más de 1.500 MW acumulados en España. El mercado se ha multiplicado por 2,5 desde que en 2018 se derogase el denominado ‘impuesto al sol’ y el Gobierno promulgara un marco regulatorio favorable [1].

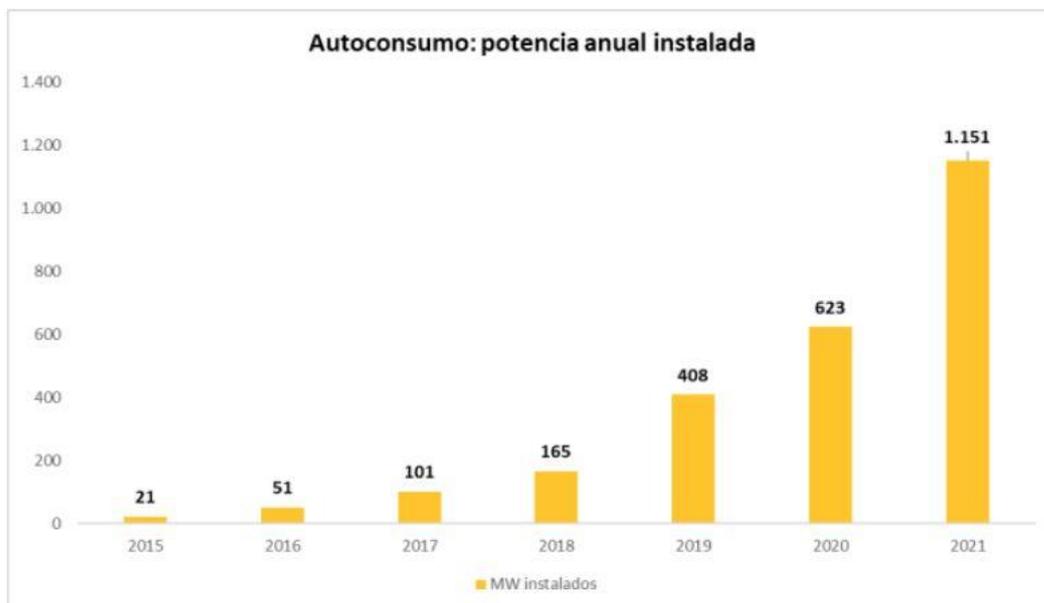


Figura 3: Evolución del autoconsumo desde el año 2015 hasta 2021 en España

Con un crecimiento del 85% respecto al año precedente, en 2021 se instalaron 1.151 MW de potencia en instalaciones de Autoconsumo. El sector residencial, clave en el aumento de estas cifras, supone ya el 22% del total (253 MW). El ámbito doméstico estuvo muy condicionado por los altos precios del mercado eléctrico y el Autoconsumo se ha identificado claramente como una forma de conseguir grandes ahorros en la factura eléctrica [6].

Share of energy from renewable sources in the EU Member States

(in % of gross final energy consumption)

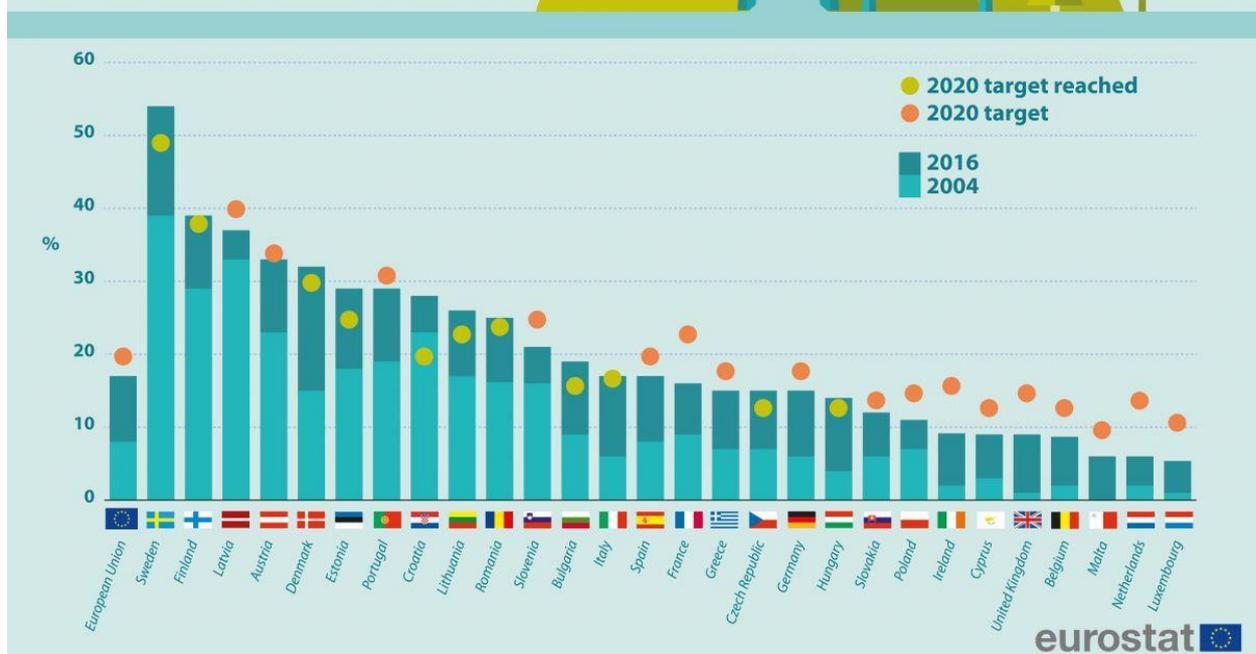


Figura 4: Comparación de la instalación de energía fotovoltaica en Europa entre 2004 y 2016

Algunos países europeos que van a la vanguardia en cuanto a la legislación del autoconsumo son [7]:

- Alemania: desde el año 2000, con la llegada de las renovables, el gobierno ha estado incentivando la instalación de energía renovables para el autoconsumo con vertido, garantizando una retribución por el excedente a sus productores.
- Francia: este país invirtió gran parte de su patrimonio destinado a la energía en la instalación de energía nuclear. Sin embargo, ahora hay previsto un gran número de cierres de dichas fábricas. Es aquí donde las renovables han cogido impulso y, por ende, el autoconsumo. Su gobierno se ha comprometido en aumentar la producción de energía eólica por tres y quintuplicar la producción de energía fotovoltaica.
- Portugal: en este país hasta 2015 la energía no podía usarse para el autoconsumo, sino que tenía que verter a la red obligatoriamente. Como pasó con España, las directrices europeas cambiaron esta tónica. Portugal prevé un gran crecimiento de la energía fotovoltaica destinada al autoconsumo.
- Italia: fueron de los primeros países en incentivar la energía fotovoltaica en Europa, dándole la espalda a las nucleares desde 2013. Este país tiene como objetivo que la mitad de la energía renovable producida sea de origen fotovoltaico, y es que este país cuenta con unas condiciones muy favorables para este tipo de tecnología como España.
- Estados Unidos: es uno de los países que más ha apostado por la tecnología fotovoltaica. A finales de 2016, ya tenía una potencia instalada de 35.8 GW. En promedio, han llegado a conectar 1 GW cada 32 minutos, un gran hito, comparado con el promedio español que es de 1 GW cada 15 días para ese mismo año.

Aunque este avance es significativo, la mayoría de las fuentes energéticas del continente provienen del consumo de combustibles fósiles como pueden ser carbón, gas natural o petróleo. Los residuos nucleares son muy difíciles

de eliminar de manera segura mientras que los residuos de los combustibles fósiles son altamente contaminantes para la atmósfera: óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre o gases de efecto invernadero. Es por eso por lo que tanto la UE como los gobiernos de las naciones han dado incentivos a las renovables, de manera que disminuyamos la huella de contaminación en algo tan esencial como es la generación de un bien imprescindible ya en la vida de todos.

1.5 Mercado eléctrico.

Estamos en un momento histórico del mercado eléctrico donde cada día prácticamente se alcanza un nuevo máximo histórico del precio del MWh. Como podemos observar en la Figura 5: Evolución del precio del MWh históricamente desde 1998 hasta la actualidad [8], en el año 2019 prácticamente el precio rondaba en torno a 20 €/MWh mientras que hoy, en 2022, lo encontramos en 400 €/MWh.

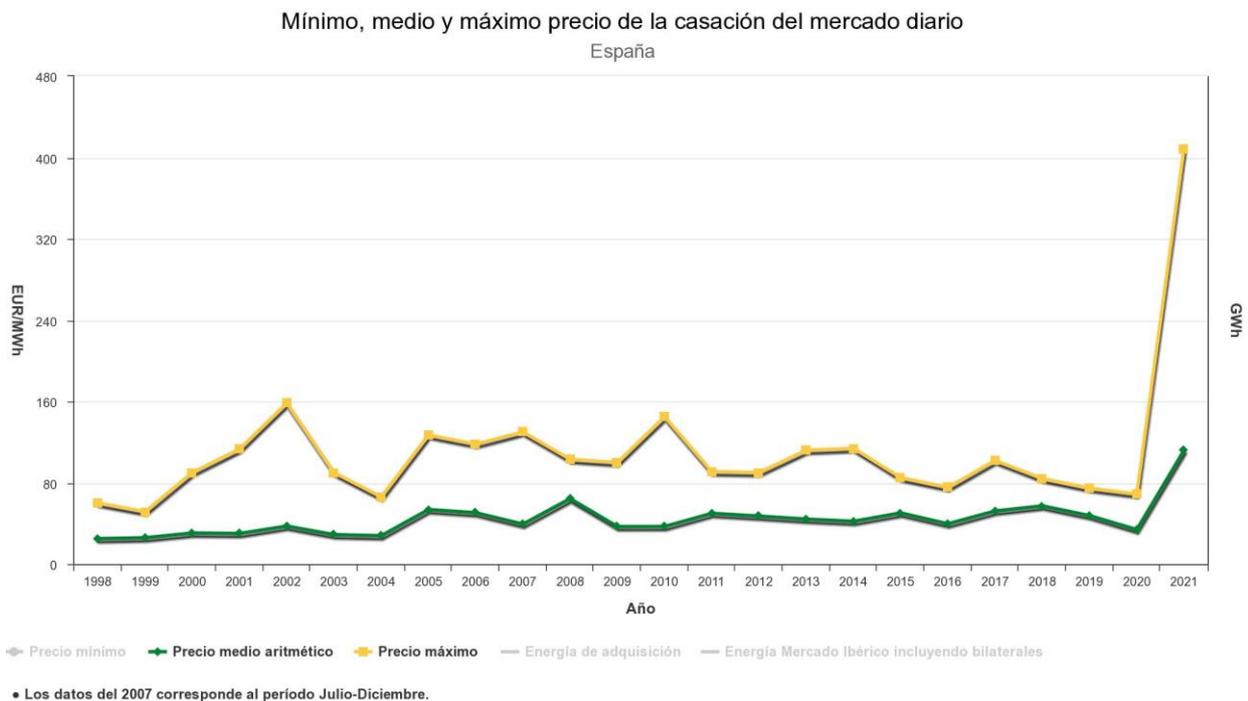


Figura 5: Evolución del precio del MWh históricamente desde 1998 hasta la actualidad

Este cambio en el precio viene dado por dos factores que están imponiendo unos precios tan altos:

- El precio del combustible está subiendo de forma desorbitada, lo que encarece la producción de energía en términos de coste variables para centrales que no sean nucleares o renovables.
- El precio de las toneladas de CO₂ emitidas también ha subido debido a las restricciones de contaminación impuestas por Europa.

Es decir, han subido los dos factores que encarecen la producción de la energía y, por tanto, sube su precio de venta para una demanda que se mantiene igual o incluso aumenta día a día.

1.6 Tarifas eléctricas

Las comercializadoras eléctricas son aquellas empresas encargadas de ofrecernos distintas tarifas que te ofrecen diversas opciones para conectarte a la red, según tus necesidades, al precio que dichas empresas crean conveniente según como este el mercado eléctrico.

Las principales tarifas que existen actualmente son [9]:

- Tarifas baja tensión: tensiones no superiores a 1 kV. A su vez hay dos tipos:
 1. Tarifa 2.0A: tarifa simple de baja tensión.
 2. Tarifa 3.0A: tarifa general de baja tensión.
- Tarifas de alta tensión: suministros efectuados a tensiones mayores a 1 kV. También se dividen a su vez en:
 1. Tarifa 3.1A: tarifa específica de tres periodos para tensiones entre 1 y 36 kV.
 2. Tarifas 6.XTD: tarifas generales de alta tensión.

Centraremos fundamentalmente el caso de estudio en las tarifas 6.XTD puesto que contamos con un punto de conexión a la red de más de 36 kV. Estas tarifas establecen un total de seis periodos de consumo (P1, P2, P3, P4, P5 y P6) como se puede apreciar en la Figura 6: Distribución horaria de los periodos de las tarifas 6.XTD, de manera que el periodo uno es el más caro y el periodo seis el más barato.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
ENERO	P6	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P2	P2							
FEBRERO	P6	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P2	P2							
MARZO	P6	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P2	P2							
ABRIL	P6	P5	P4	P4	P4	P4	P4	P5	P5	P5	P5	P4	P4	P4	P4	P5	P5							
MAYO	P6	P5	P4	P4	P4	P4	P4	P5	P5	P5	P5	P4	P4	P4	P4	P5	P5							
JUNIO	P6	P4	P3	P3	P3	P3	P3	P4	P4	P4	P4	P3	P3	P3	P3	P4	P4							
JULIO	P6	P4	P3	P3	P3	P3	P3	P4	P4	P4	P4	P3	P3	P3	P3	P4	P4							
AGOSTO	P6	P4	P3	P3	P3	P3	P3	P4	P4	P4	P4	P3	P3	P3	P3	P4	P4							
SEPTIEMBRE	P6	P4	P3	P3	P3	P3	P3	P4	P4	P4	P4	P3	P3	P3	P3	P4	P4							
OCTUBRE	P6	P5	P4	P4	P4	P4	P4	P5	P5	P5	P5	P4	P4	P4	P4	P5	P5							
NOVIEMBRE	P6	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P2	P2							
DICIEMBRE	P6	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P2	P2							

Figura 6: Distribución horaria de los periodos de las tarifas 6.XTD

Este tipo de tarifas tiene un condicionante y es que la potencia de cada periodo debe ser igual o superior a la contratada en el periodo anterior. Este tipo de tarifas no tiene un contador, si no un máxímetro en la instalación eléctrica que sirve para medir la potencia máxima para luego comparar con la potencia contratada y realizar la factura en función de esos datos. Además, el máxímetro únicamente mide y no corta el suministro en caso de superar la potencia contratada.

Las tarifas 6.XTD se dividen en las siguientes categorías según la tensión del punto de acceso:

Tarifa	Tensión
6.1TD	1 - 30 kV
6.2TD	30 - 72,5 kV
6.3TD	72,5 - 145 kV
6.4TD	Superior a 145 kV

Tabla 1: Tarifa 6.XTD

Los nuevos periodos tarifarios para las tarifas 6.XTD varían como se puede observar en la Figura 7, por temporada eléctricas (alta, media alta, media y baja) y en función de los días de la semana (5 calificaciones para los días según la temporada) [10]. También varían según la zona geográfica:

Temporadas eléctricas

	PENÍNSULA	CANARIAS	BALEARES
Enero	ALTA	MEDIA	MEDIA
Febrero	ALTA	MEDIA	MEDIA
Marzo	MEDIA - ALTA	MEDIA	BAJA
Abril	BAJA	BAJA	BAJA
Mayo	BAJA	BAJA	MEDIA - ALTA
Junio	MEDIA	BAJA	ALTA
Julio	ALTA	ALTA	ALTA
Agosto	MEDIA	ALTA	ALTA
Septiembre	MEDIA	ALTA	ALTA
Octubre	BAJA	ALTA	MEDIA - ALTA
Noviembre	MEDIA - ALTA	MEDIA - ALTA	BAJA
Diciembre	ALTA	MEDIA - ALTA	MEDIA

Figura 7: Distribución de categorías de periodos tarifarios según el mes y la localización geográfica

2 DEFINICIÓN DEL CASO

Un cliente consumidor del sector servicios, concretamente de un centro sanitario, nos ha proporcionado los datos del consumo anual con el objetivo de realizar un trabajo de asesoría energética para ver qué posibilidades hay de reducir la factura de la luz al cabo del año. Como se puede observar en la Figura 8, la empresa tiene unos consumos energéticos muy altos de media e ininterrumpido durante las 24h del día.

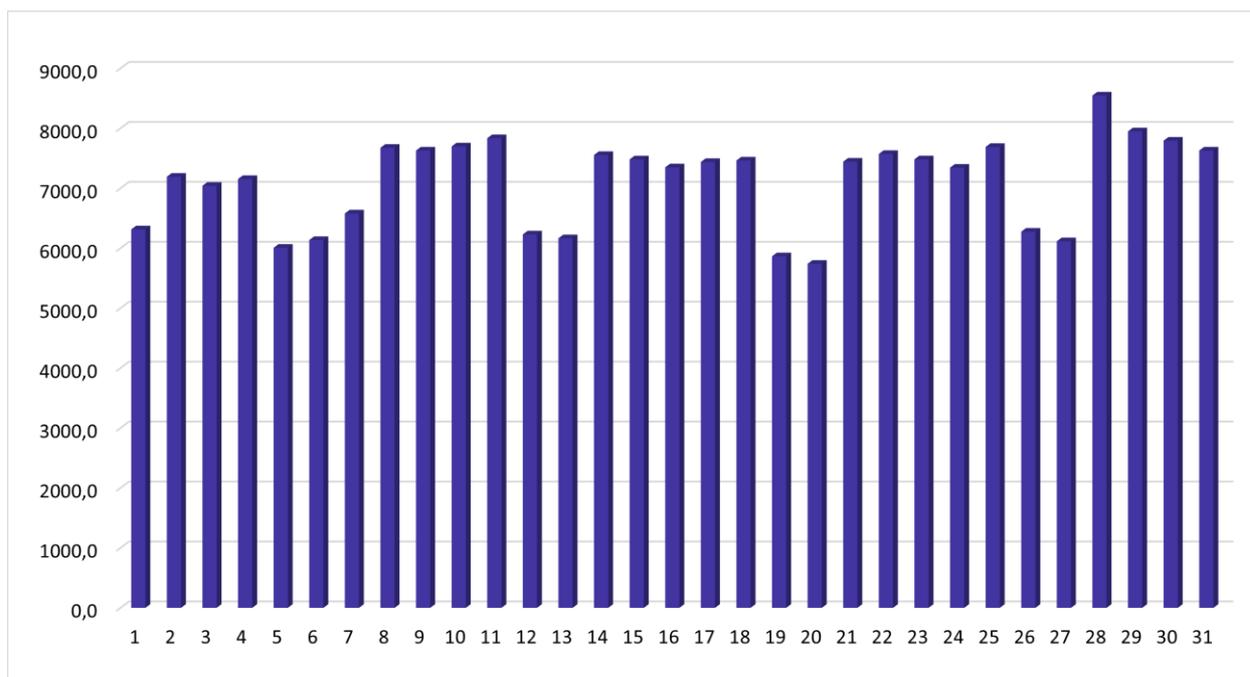


Figura 8: Consumo eléctrico diario en el mes de enero en kWh

Los meses más favorables son los de verano donde la irradiancia tiene unos valores máximos de 1.003 W/m^2 , los días son más largos y se alcanzan temperaturas de 45°C . Por otro lado, los meses de invierno son los más desfavorables puesto que son los que tienen menos horas de sol diarias y la irradiación se aleja de los valores óptimos (en torno a los 524 W/m^2).

El centro sanitario dispone de un total de 7.260 m^2 de espacio donde poder instalar paneles fotovoltaicos en tierra y en cubiertas de las propias instalaciones.

La tarifa eléctrica del centro sanitario es la tarifa 6.A, típica de una industria con un consumo eléctrico elevado. Cuenta con una contratación de 664 kW para cada uno de los seis periodos que tiene esta tarifa. No contamos con la potencia del maxímetro necesario para calcular la facturación por potencia. Este dato lo aproximaremos por un consumo acorde a la potencia contratada.

	Término de energía (€/kWh)	Término de potencia €/kW
P1	0,1395	0,0837
P2	0,1278	0,0709
P3	0,1110	0,0408
P4	0,1014	0,0331
P5	0,0973	0,0108
P6	0,0871	0,0058

Tabla 2: Tarifa Eléctrica asociada al centro sanitario

2.1 Paneles fotovoltaicos e inversores

A continuación, una tabla de los paneles fotovoltaicos encontrados en el mercado con sus características. Más adelante, se decidirá qué tipo se adaptará más a nuestro problema.

TIPO DE PANEL	POTENCIA (kW)	PRECIO (€)	AREA (m ²)	TENSIÓN (V)	BASE (mm)	ALTURA (mm)
1	0,28	95,32	1,63	32,2	992	1.640
2	0,34	118,3	1,94	38,5	992	1.956
3	0,4	139,97	1,98	41,7	1.002	1.979
4	0,38	145,6	1,82	34,8	1.038	1.755
5	0,45	174,09	2,17	41,5	1.038	2.094
6	0,45	185,17	2,19	41,4	1.040	2.102
7	0,2	114,62	1,01	18	680	1.480
8	0,2	153,1	1,32	18,2	992	1.332
9	0,325	157,65	1,67	33,6	1.002	1.665
10	0,39	162,96	1,87	35,33	1.052	1.776
11	0,415	178,75	1,95	31,61	1.134	1.722

Tabla 3: Características de los paneles fotovoltaicos.

Además de los paneles fotovoltaicos mostrados en la Tabla 3, a continuación, se ofrecen los inversores encontrados para configurar posteriormente los parques a la potencia requerida.

POTENCIA (kW)	PRECIO (€)
25	7.500,00
40	9.230,00
64	15.300,00
80	16.700,00
100	17.300,00
200	32.000,00
250	33.700,00

Tabla 4: Características de los inversores disponibles

El pliego de condiciones técnicas del IDAE define una serie de puntos que los inversores deben cumplir. Ahí define las características básicas que éstos deben presentar, y son: [11]

- Principio de funcionamiento: fuente de corriente.
- Autoconmutados.
- Seguimiento automático del punto de máxima potencia del generador.
- No funcionarán en isla o modo aislado.

Los inversores cumplirán con las directivas comunitarias de Seguridad Eléctrica y Compatibilidad Electromagnética (ambas serán certificadas por el fabricante), incorporando protecciones frente a:

- Cortocircuitos en alterna.
- Tensión de red fuera de rango.
- Frecuencia de red fuera de rango.
- Sobretensiones, mediante varistores o similares.
- Perturbaciones presentes en la red como micro cortes, pulsos, defectos de ciclos, ausencia y retorno de la red, etc.

La elección del inversor no tiene por qué coincidir con la potencia pico instalada en el parque. De hecho, las condiciones normales de operación de los paneles fotovoltaicos distan mucho de la hoja técnica de los paneles. Es por eso por lo que la elección de los inversores deber ser subdimensionada, de forma que aquellos días donde la irradiación sea muy alta, el inversor no transforme la potencia en exceso que le proporciona el parque fotovoltaico.

2.2 Factura sin ahorro

Dado el consumo horario del centro sanitario para cada día del año, los términos de potencia y de energía de la factura tipo 6.A y sin añadir ningún tipo de generación auxiliar, podemos calcular la factura eléctrica anual.

Los periodos de este tipo de facturas dependen del mes del año y de las horas a las que se produzcan los consumos. De esta forma, se organizan los consumos para cada mes por periodos según las horas en las que están registrados y se reúnen.

	ENERGÍA ANUAL POR PERIODO (kWh)	COSTE ANUAL POR PERIODO (€)
P1	336.848,0	46.990,3
P2	389.211,0	49.741,2
P3	424.765,0	47.148,9
P4	484.164,0	49.094,2
P5	182.656,0	17.766,9
P6	1.142.778,0	99.536,0
TOTAL	2.960.422,0	310.277,5

Tabla 5: Energía consumida y coste por periodos anuales para el centro sin PV

Antes de realizar la factura anual, debemos adjuntar otro tipo de cargo a la factura y es la facturación por potencia. Mientras que la que hemos calculado previamente es la facturación por energía consumida, la facturación por potencia se calcula mediante las mediciones del maxímetro. Al no disponer de esos datos para el análisis de la factura pondremos un caso medio, ni muy desfavorable ni muy favorable.

La facturación por potencia tiene los siguientes condicionantes:

- Si la potencia del máxímetro es menor que 0.85 veces la potencia contratada, se pagará la potencia contratada por 0.85. De esta forma se encarga la red de castigar al consumidor por contratar más de lo que consume.
- Si la potencia del máxímetro registrada se encuentra en el intervalo entre 0.85 y 1.05 veces la potencia contratada, el consumidor paga por la potencia registrada en el máxímetro. Este caso es el menos desfavorable.
- Finalmente, si la potencia del máxímetro resulta ser mayor que 1.05 la potencia contratada, el consumidor debe asumir una multa que se calcula de la siguiente forma:

$$Pf = Pm + 2(Pm - 1.05 * Pc)$$

Donde Pf es la potencia que se va a facturar, Pm la potencia del máxímetro y Pc la potencia contratada.

En el caso del centro sanitario, se procederá a suponer que la potencia del máxímetro es igual a la potencia contratada, de tal forma que la facturación por potencia resulta:

	PERIODO 1	PERIODO 2	PERIODO 3	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 6
ENERO	664	664	664	664	664	664
FEBRERO	664	664	664	664	664	664
MARZO	664	664	664	664	664	664
ABRIL	664	664	664	664	664	664
MAYO	664	664	664	664	664	664
JUNIO	664	664	664	664	664	664
JULIO	664	664	664	664	664	664
AGOSTO	664	664	664	664	664	664
SEPTIEMBRE	664	664	664	664	664	664
OCTUBRE	664	664	664	664	664	664
NOVIEMBRE	664	664	664	664	664	664
DICIEMBRE	664	664	664	664	664	664

Tabla 6: Potencia consumida por periodo en kW

Una vez obtenida la potencia facturada, calculamos la facturación por potencia.

	PERIODO 1	PERIODO 2	PERIODO 3	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 6
ENERO	55,58	47,08	27,09	21,98	7,17	3,85
FEBRERO	55,58	47,08	27,09	21,98	7,17	3,85
MARZO	55,58	47,08	27,09	21,98	7,17	3,85
ABRIL	55,58	47,08	27,09	21,98	7,17	3,85
MAYO	55,58	47,08	27,09	21,98	7,17	3,85
JUNIO	55,58	47,08	27,09	21,98	7,17	3,85
JULIO	55,58	47,08	27,09	21,98	7,17	3,85
AGOSTO	55,58	47,08	27,09	21,98	7,17	3,85
SEPTIEMBRE	55,58	47,08	27,09	21,98	7,17	3,85
OCTUBRE	55,58	47,08	27,09	21,98	7,17	3,85
NOVIEMBRE	55,58	47,08	27,09	21,98	7,17	3,85
DICIEMBRE	55,58	47,08	27,09	21,98	7,17	3,85

Tabla 7: Facturación de la potencia por periodo en €

Este dato no lo volveremos a modificar de aquí en adelante puesto que, como se nombra anteriormente, es un dato del que no disponemos y por tanto es una aproximación. Como resultado de la facturación por potencia obtenemos 1.952,96 €, que no es más que la suma para cada periodo de la potencia consumida por el termino de potencia.

A estos dos datos hay que aplicarles el impuesto eléctrico y el IVA para obtener finalmente la factura sin generación para el autoconsumo.

F. CONSUMO (€)	I.ELECTRICO (€)	IVA (€)	TOTAL (€)
312.230,5	15.963,40	68.920,71	397.114,59

Tabla 8: Facturación anual sin PV instalado en el centro sanitario

3 AUTOCONSUMO CON EXCEDENTE

La primera casuística que vamos a analizar es el caso en el que nuestro centro sanitario sigue las normas de autoconsumo con excedente acogido a compensación, es decir, la energía que se genere en aquellas horas en las que la generación del parque fotovoltaico sea superior al consumo será vertida a la red con nuestra correspondiente retribución económica.

Como vimos en el apartado 1.1.2.1, tenemos unas limitaciones que son condicionante de nuestro caso de estudio, puesto que nos prohíbe que la instalación pico del parque fotovoltaico sea superior a 100 kWh entre otros tipos de restricciones. Esta restricción junto a la limitación de espacio serán los dos condicionantes de este problema. La configuración típica de este tipo de instalación es como se muestra en la Figura 9.

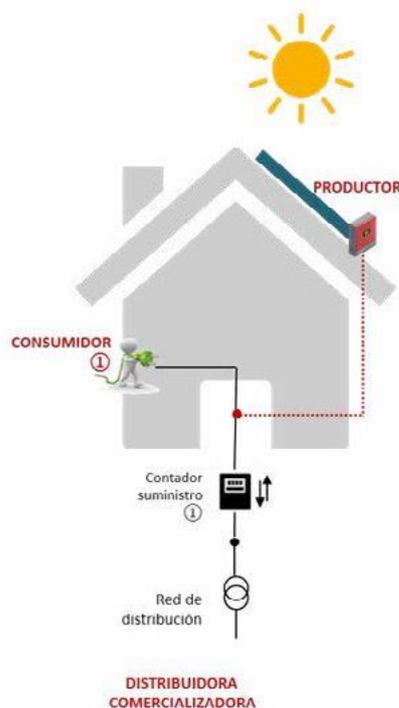


Figura 9: Esquema típico de una instalación de autoconsumo acogida a excedente

3.1 Elección de la configuración fotovoltaica

Lo primero que calcularemos será la potencia que es posible instalar ocupando el máximo del área disponible para la instalación del parque, que recordemos, es de 7260 m². La forma de calcularlo es mediante la herramienta Matlab. Creamos un script donde iremos aumentando el número de paneles hasta toparnos con el área máxima sabiendo el área de cada uno, como puede verse en la Figura 10. Con algunas variaciones se calculará posteriormente la potencia que aportan los equipos limitando, además del área, la potencia final. Este cálculo se ha efectuado sin tener en cuenta la inclinación de los paneles ni la separación existente entre ellos para que no exista la posibilidad de que se den sombra unos a otros perdiendo rendimiento. Teniendo en cuenta estos condicionantes el área ocupada por el parque fotovoltaico es mayor, decrementando la potencia final que puede ofrecer el parque.

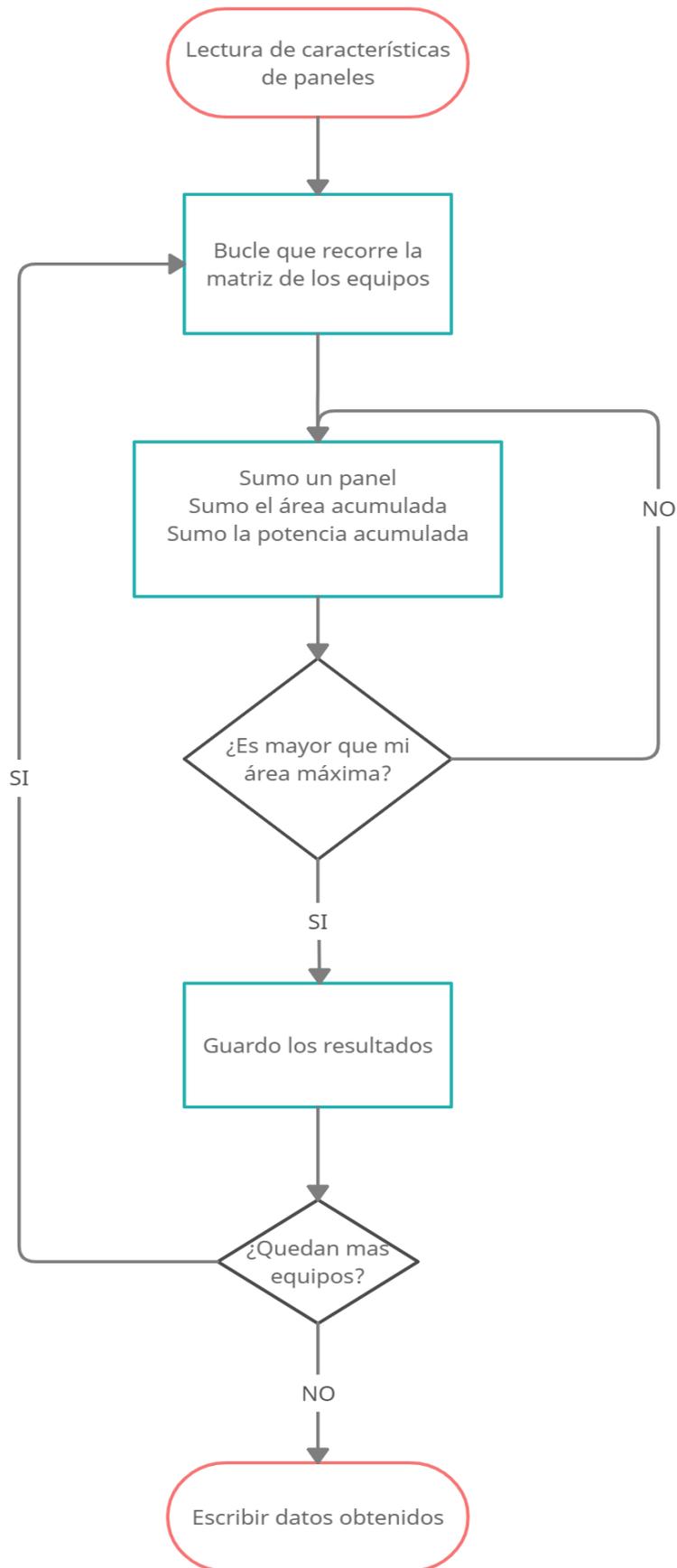


Figura 10: Diagrama de flujo para el cálculo de la potencia aportada por los paneles

El resultado para todos los equipos disponibles se muestra en la Tabla 9. Por tanto, la limitación de espacio queda en un segundo plano en este caso dado que la potencia máxima es de 100 kWh, la cual ocupa muy poco espacio en comparación con el área disponible.

TIPO DE PANEL FOTOVOLTAICO	POTENCIA (kWh)	PRECIO (€)	N.º PANELES (Uds.)
1	1.249,64	425.413,1	4.463
2	1.272,28	442.678,6	3.742
3	1.464,8	512.570,1	3.662
4	1.514,68	580.361,6	3.986
5	1.503,45	581.634,6	3.341
6	1.494,9	615.134,7	3.322
7	1.442,8	826.868,6	7.214
8	1.099,00	841.284,5	5.495
9	1.414,4	686.092,8	4.352
10	1.515,54	633.262,5	3.886
11	1.542,97	664.592,5	3.718

Tabla 9: Resultado de los equipos limitando solo el área máxima

Si en algún momento se tuviese complicaciones con el espacio, sería más recomendable utilizar los paneles más caros, puesto que como se ve en la Tabla 9, para una situación límite de espacio como es la representada (máxima área del centro sanitario utilizada para instalación de paneles fotovoltaicos), los paneles que ofrecen una potencia individual mayor son capaces de llegar a ofrecer una potencia mayor que los primeros. Este se debe a que las primeras configuraciones necesitan muchos más paneles para llegar a la misma potencia que por ejemplo los parques que usan los equipos 5 y 6, que son aquellos que tienen las mayores potencias. A pesar de contar con esta ventaja, este tipo de dispositivos son muchos más caros, motivo por el cual suelen ser descartados.

Como puede verse en la Tabla 10: Resultado de los equipos para limitación de 100kWh, la limitación de área no es un problema. Ahora que tenemos la potencia por equipo, el precio de la inversión y el área ocupada, podemos escoger el equipo que más nos interese. En este caso, la elección se realiza por precio puesto que el objetivo es que la inversión sea lo más rentable posible y alcanzar dicho objetivo hay que limitar todos los gastos al menor posible.

TIPO DE PANEL FOTOVOLTAICO	POTENCIA (kWh)	PRECIO (€)	N.º PANELES (Uds.)	ÁREA OCUPADA (m ²)
1	99,96	34.124,56	358	582,42
2	99,96	34.898,50	295	572,40
3	100,00	34.992,50	250	495,74
4	99,94	38.438,40	264	480,93
5	99,90	38.822,07	223	484,71
6	99,90	41.292,91	223	487,50
7	100,00	57.310,00	500	503,20
8	100,00	76.550,00	500	660,67
9	99,78	48.556,20	308	513,85
10	99,84	41.880,72	257	480,17
11	99,60	43.078,75	241	470,61

Tabla 10: Resultado de los equipos para limitación de 100kWh

Se puede apreciar en la Tabla 10 que para una misma potencia existen precios muy dispares y eso se debe a que los paneles que ofrecen mejores prestaciones de potencia a su vez tienen un precio mucho más elevado, como ya comentábamos anteriormente, por lo que se puede deducir que es más económico utilizar paneles del tipo más barato para llegar a la potencia requerida.

Cabe resaltar que la opción más económica es la primera, a pesar de poseer los paneles con menor generación. Esto se debe fundamentalmente a que es más rentable realizar la instalación mediante paneles fotovoltaicos que ofrecen menor potencia individual pero que tienen un coste mucho menor que paneles como los de la configuración 5 y 6. Para una misma potencia, teniendo libertad de espacio, resulta más rentable colocar paneles baratos que caros. En nuestro caso concreto, emplearemos los más económicos puesto que el objetivo del estudio es conseguir rebajar la factura anual lo máximo posible, lo cual implica también que la inversión sea la menor posible.

Esto se ve reflejado perfectamente en el quinto y sexto tipo de panel, los cuales ofrecen 0,45 kW de potencia. Su precio para alcanzar los 100 kWh asciende a alrededor de 40.000 € mientras que con el primer equipo únicamente hay que realizar una inversión de 34.000 € para la misma potencia instalada.

De ahora en adelante, cuando nos refiramos a la potencia pico del parque fotovoltaico, lo haremos de forma simplificada como potencia.

3.2 Resultados de la generación frente al consumo

Analizamos los datos de consumo del centro sanitario frente a los datos de generación que obtenemos para una instalación de potencia 100 kW.

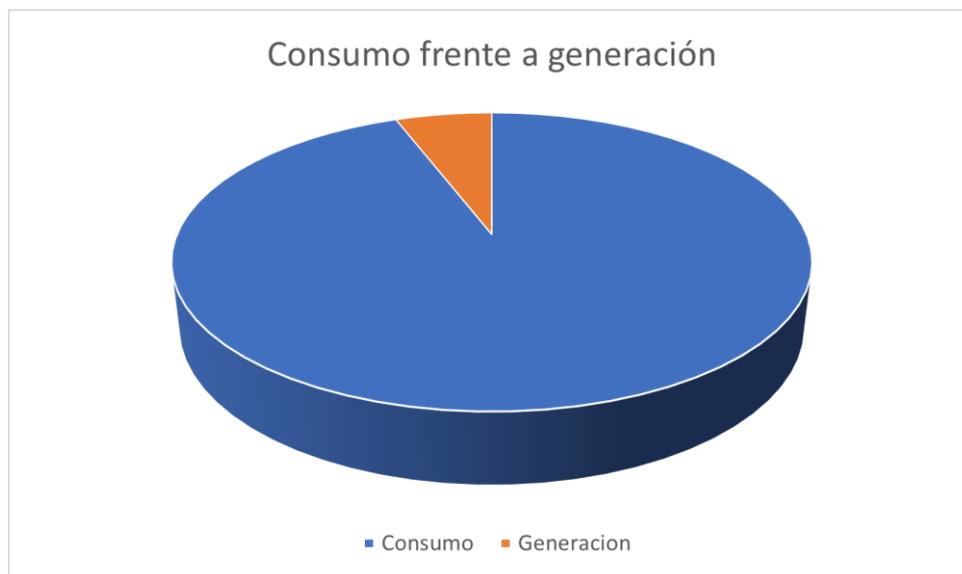


Figura 11: Consumo frente a generación mensual

Para un mes, como se aprecia claramente en la Figura 11: Consumo frente a generación mensual, la instalación es insuficiente para compensar los consumos continuos que presenta el centro sanitario. Podemos verlo también de forma diaria para un día cualquiera, como demuestra la Figura 12: Consumo diario frente a generación diaria el 15 de enero en kWh.

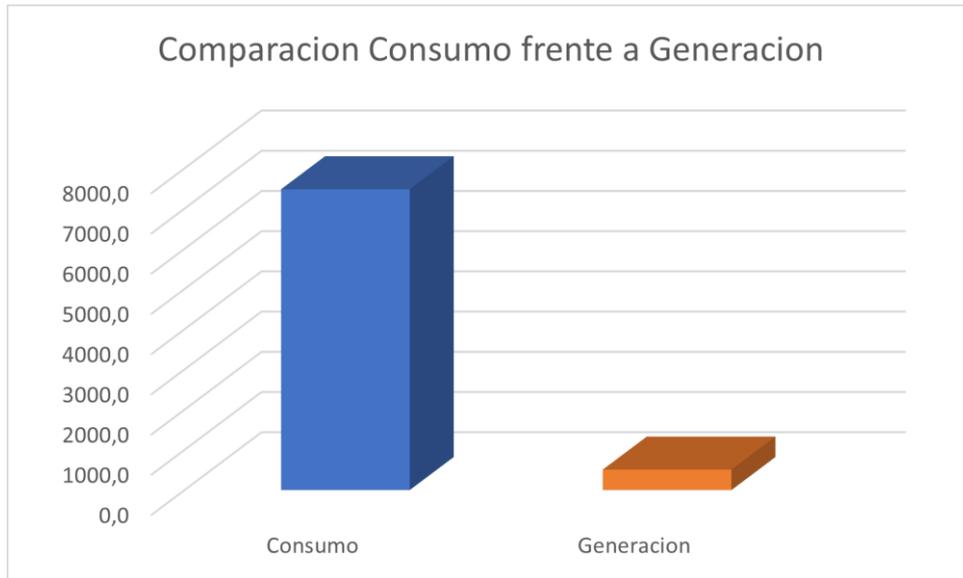


Figura 12: Consumo diario frente a generación diaria el 15 de enero en kWh

3.3 Facturación para 100 kW

Debido a la limitación impuesta por el estado, para acoger el proyecto a la generación con vertido, el parque fotovoltaico no tiene más de 100 kWh instalado. Aun así, los consumos finales de los periodos disminuyen gracias a tener generación comparado con el caso inicial.

	ENERGÍA ANUAL POR PERIODO (kWh)	COSTE ANUAL POR PERIODO (€)
P1	307.628,4	42.914,2
P2	358.546,5	45.822,2
P3	392.085,3	43.521,5
P4	447.004,9	45.326,3
P5	169.958,6	16.531,9
P6	1.111.651,6	96.824,9
TOTAL	2.786.875,3	290.940,9

Tabla 11: Energía consumida y coste por periodos anuales para el centro con un PV de 100 kWh

Esto constituye el coste por energía al que hay que sumarle el coste por potencia contratada obteniendo el dato mostrado en facturación por consumo (F. Consumo) de la Tabla 12: Facturación para 100 kWh. Una vez calculado, se añade el impuesto eléctrico, que se aplica al dato de facturación por consumo y se le agrega al total. A este total, se le aplica el impuesto de valor añadido y así sacamos el total del coste anual para este caso.

F. CONSUMO (€)	I.ELECTRICO (€)	IVA (€)	TOTAL (€)
292.893,9	14.974,77	64.652,41	372.521,04

Tabla 12: Facturación para 100 kWh

4 AUTOCONSUMO SIN EXCEDENTE

Veremos dos casos distintos dado que, si se decide suscribir la instalación como autoconsumo sin excedente, no tenemos límite en cuanto a la potencia pico del parque fotovoltaico.

Analizaremos un primer caso en el que instalamos una potencia igual al mínimo consumo que tenemos durante el año, de forma que nunca tendremos más generación que consumo, ajustando mucho la curva de generación a la de consumo.

El segundo caso que será objeto de nuestro estudio es la instalación de una potencia igual a la media de consumos medios de todos los meses. En este caso, la generación sobrepasará en bastantes ocasiones al consumo del centro sanitario.

La configuración típica de este tipo de instalación es como se muestra en la Figura 13. Como se puede apreciar, dispone de un sistema de anti-vertido mediante el cual impide al sistema de autoconsumo verter energía a la red. Este sistema que impide el vertido a la red es la piedra angular para poder legalizar una instalación de autoconsumo sin excedentes. Para verificar que el llamado sistema de inyección-cero funciona de forma correcta se somete a diferentes ensayos en un laboratorio para que se demuestre que cumple con los exigentes requisitos de la ITC-BT-40. Los equipos actuales constan de dos unidades de control. Por un lado, una unidad maestra, que es la encargada de medir el balance eléctrico generación-consumo en tiempo real en el punto de inyección a red y que contiene el algoritmo de inyección cero a la red. Por otro lado, una o varias unidades esclavas que son las encargadas de comunicarse con los inversores de la planta para transmitir las ordenes de la unidad maestra.

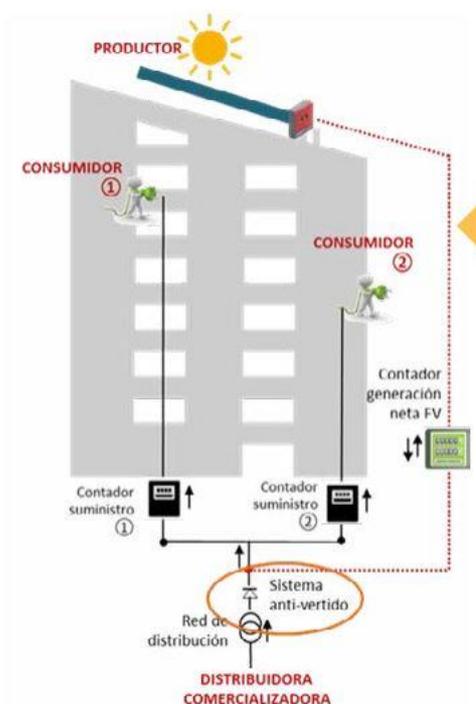


Figura 13: Esquema típico de una instalación de autoconsumo sin excedente

4.1 Generación igual al mínimo consumo anual

Como hemos dicho anteriormente, este caso trata de ajustar la curva de generación al mínimo consumo que

aparece en todo el año. Ajustando de esta manera, el consumo no debe sobrepasar a la generación en la mayoría de los casos. El mínimo consumo registrado para todo el año es de 167 kWh. Por tanto, teniendo en cuenta que los paneles tienen unas pérdidas de un 14%, la instalación pico debe ser aproximadamente de 190 kWh.

Este caso tiene como objetivo la máxima eficiencia de la potencia instalada en el parque fotovoltaico y las menores pérdidas posibles puesto que al no poder verter energía a la red, toda aquella que generemos y no consumamos la estaríamos perdiendo dado que no contamos con equipos de almacenamiento.

4.1.1 Elección del sistema FV

Nuestras restricciones son de espacio, precio y potencia, como en todos los casos. Como ya hemos visto, la restricción de espacio no preocupa puesto que el centro sanitario dispone de suficientes metros cuadrados para la instalación de equipos. En cuanto a la potencia, ya está marcada como objetivo al ser calculada como la mínima necesaria para obtener la generación que haga el consumo mínimo igual a cero. Por tanto, únicamente nos queda como restricción para la elección del equipo el ámbito económico.

Como ya se comentó en la elección de los paneles fotovoltaicos del caso de 100 kWh, dado que no existe una restricción de área ocupada, el tipo de panel ganador es de nuevo el primero.

TIPO DE PANEL FOTOVOLTAICO	POTENCIA (kWh)	PRECIO (€)	N.º PANELES (Uds.)	ÁREA OCUPADA (m ²)
1	190,12	64.722,28	679	1.104,65
2	190,06	66.129,70	559	1.084,66
3	190,00	66.485,75	475	941,91
4	190,38	72.945,60	501	912,67
5	190,35	73.640,07	423	919,42
6	190,35	78.326,91	423	924,71
7	190,20	109.003,62	951	957,09
8	190,20	145.598,10	951	1.256,60
9	190,13	92.225,25	585	975,97
10	190,32	79.524,48	488	911,76
11	190,07	81.867,50	458	894,36

Tabla 13: Resultado de los equipos para limitación de 190 kWh

4.1.2 Curva consumo-generación

De forma gráfica, la curva de consumo y generación para el autoconsumo queda de la siguiente forma como podemos ver en la Figura 14 y de forma diaria como se puede apreciar en la Figura 15: Consumo frente a generación diaria en kWh.

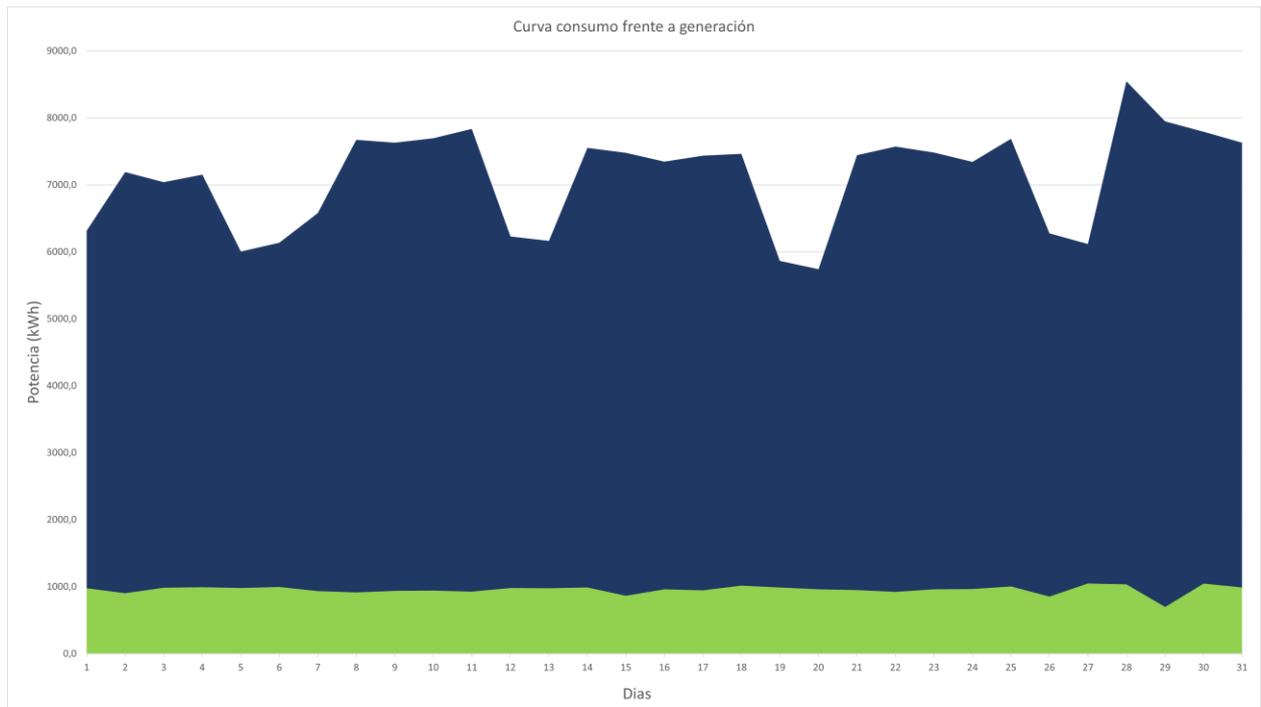


Figura 14: Consumo frente a generación mensual en kWh

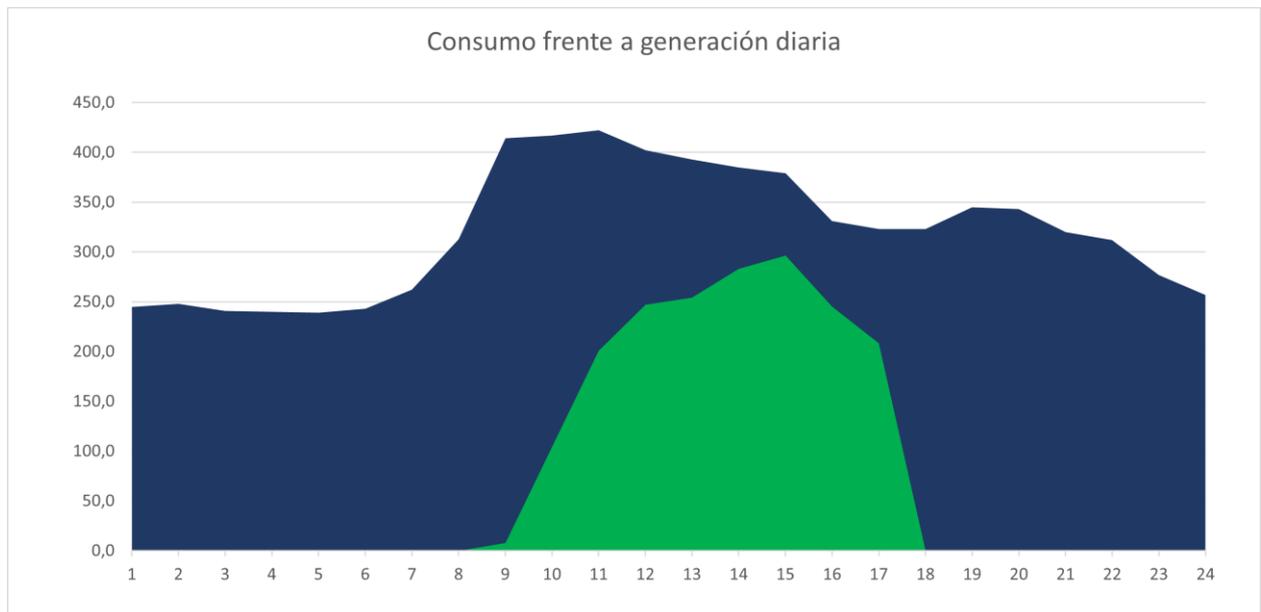


Figura 15: Consumo frente a generación diaria en kWh

4.1.3 Factura

La factura en este caso será menos abultada que en el caso de vertido de red puesto que disponemos de la posibilidad de instalar la potencia que se crea conveniente. En este caso particular, como se ha comentado con anterioridad la potencia es la necesaria para igualar la generación al mínimo consumo anual registrado. Una vez reunido el total de consumo por periodo lo multiplicamos por su coste de factor de potencia y calculamos el

coste por periodo.

	ENERGIA ANUAL POR PERIODO (kWh)	COSTE ANUAL POR PERIODO (€)
P1	282.061,2	39.347,5
P2	331.715,1	42.393,2
P3	363.490,5	40.347,4
P4	414.490,7	42.029,4
P5	158.848,4	15.451,2
P6	1.084.416,1	94.452,6
TOTAL	2.635.021,9	274.021,3

Tabla 14: Energía consumida y coste anuales para el centro sanitario con un PV de 190 kWh

Esto constituye el coste por energía al que hay que sumarle el coste por potencia contratada como en el anterior caso de estudio, obteniendo el dato mostrado en facturación por consumo (F. Consumo) de la Tabla 15. Una vez calculado, se añade el impuesto eléctrico, que se aplica al dato de facturación por consumo y se le agrega al total. A este total, se le aplica el impuesto de valor añadido y así sacamos el total del coste anual para este caso.

F. CONSUMO (€)	I.ELECTRICO (€)	IVA (€)	TOTAL (€)
275.974,3	14.109,73	60.917,65	351.001,69

Tabla 15: Factura anual para un PV de 190 kW

4.2 Generación igual a la media de los consumos medios mensuales

4.2.1 Elección del sistema FV

Nuestras restricciones son de espacio, precio y potencia, como en todos los casos. Como ya hemos visto, la restricción de espacio no preocupa puesto que el centro sanitario dispone de suficientes metros cuadrados para la instalación de equipos. En cuanto a la potencia, la fijamos de manera que sea igual a la media de los consumos medios de cada mes. Para proceder a ese cálculo, como se puede visualizar en la Tabla 16, se realizará la media de los consumos a cada uno de los meses. Una vez obtenidos esos doce datos, le calcularemos de nuevo la media para sacar la potencia que nos interesa aportar, recordando siempre que la instalación pico tiene un porcentaje de pérdidas del 14%.

	PROMEDIO
ENERO	296,18
FEBRERO	294,61
MARZO	298,80
ABRIL	291,90
MAYO	372,91
JUNIO	388,70
JULIO	442,00
AGOSTO	442,24
SEPTIEMBRE	378,50
OCTUBRE	306,70
NOVIEMBRE	270,23
DICIEMBRE	267,68
C.MEDIO	337,54
I. PICO	384,79

Tabla 16: Media de los consumos medios mensuales en kWh

Como podemos comprobar, nuestra instalación pico deberá ser de 385 kWh para llegar al objetivo de 338 kWh cuando la irradiancia sea máxima. Una vez sabida la potencia objetivo, toca comprobar la limitación de espacio y la limitación económica. Observando la Tabla 17: Resultado de los equipos para limitación de 385 kWh, la limitación de área de nuevo no es un problema puesto que disponemos de 7.260 m². Una vez resueltas las limitaciones de área y de potencia, solo queda el aspecto económico. Escogeremos la versión más económica, es decir, la primera, que es lo esperado analizando los casos anteriores. En estas potencias ya se ve claramente que el área ocupada por el primer tipo de panel comienza a ser mucho mayor que los paneles con mejores potencias (del orden de los 400 m² de diferencia entre uno y otro).

TIPO DE PANEL FOTOVOLTAICO	POTENCIA (kWh)	PRECIO (€)	N.º PANELES (Uds.)	ÁREA OCUPADA (m ²)
1	385,28	131.160,32	1.376	2.238,59
2	385,22	134.033,90	1.133	2.198,42
3	385,20	134.791,11	963	1.909,59
4	385,32	147.638,40	1.014	1.847,19
5	385,20	149.021,04	856	1.860,58
6	385,20	158.505,52	856	1.871,28
7	385,20	220.758,12	1.926	1.938,33
8	385,20	294.870,60	1.926	2.544,91
9	385,13	186.815,25	1.185	1.976,97
10	385,32	161.004,48	988	1.845,93
11	385,12	165.880,00	928	1.812,15

Tabla 17: Resultado de los equipos para limitación de 385 kWh

4.2.2 Curva consumo-generación

Representamos de forma gráfica los resultados de implementar el caso de instalar 385 kWh de instalación pico. De nuevo, la Figura 16 representa el consumo y la generación mensual mientras que la Figura 17 representa el consumo frente a la generación diaria.

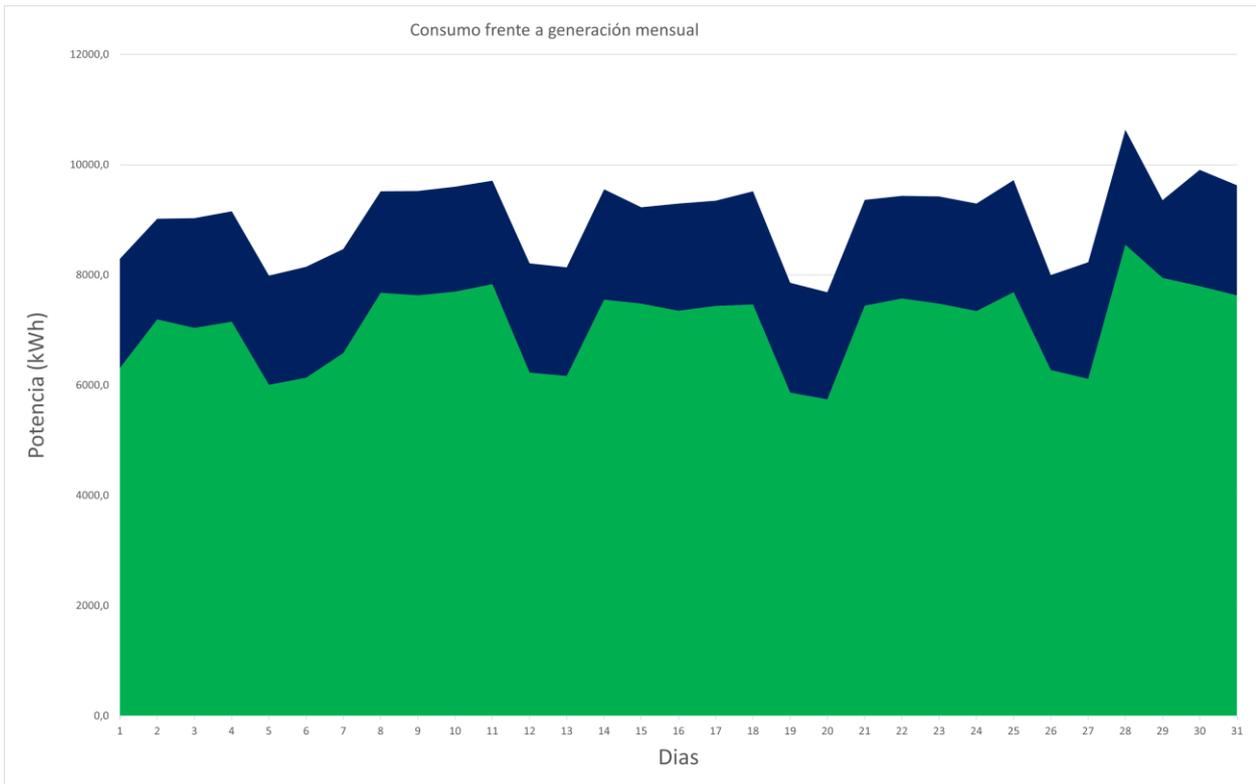


Figura 16: Consumo frente a generación mensual en kWh

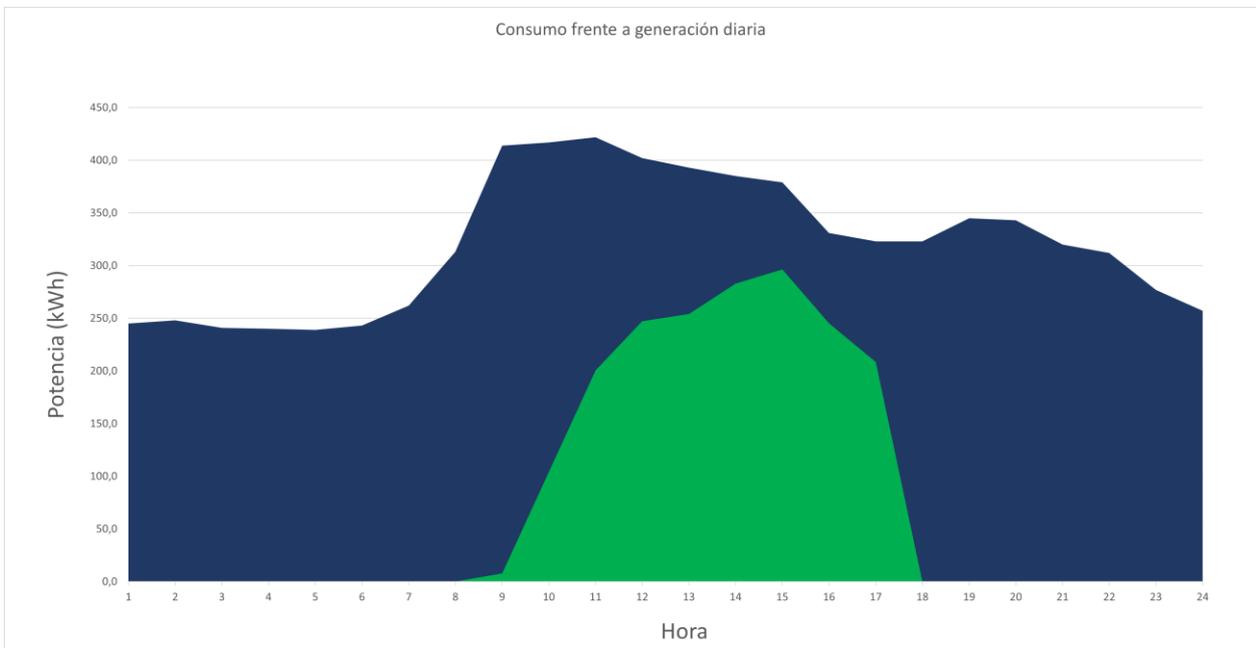


Figura 17: Consumo frente a generación diaria en kWh

4.2.3 Factura

Esta será la factura más barata que se va a obtener dado que es donde más se ha invertido. Presenta el mayor ahorro, la mayor inversión y pérdida de energía puesto que existe energía de generación por parte del parque

fotovoltaico que no se puede almacenar dado que el consumo es menor y no disponemos de baterías. De nuevo, sumamos todos los consumos por periodos y los multiplicamos por el termino de potencia.

	ENERGIA ANUAL POR PERIODO (kWh)	COSTE ANUAL POR PERIODO (€)
P1	225.042,4	31.393,4
P2	272.098,8	34.774,2
P3	298.265,0	33.107,4
P4	341.566,7	34.634,9
P5	133.506,8	12.986,2
P6	1.022.574,2	89.066,2
TOTAL	2.293.053,9	235.962,3

Tabla 18: Energía consumida y coste anuales para el centro sanitario con un PV de 385 kWh

Una vez obtenido el coste de la facturación por energía, le sumamos el coste por la potencia contratada, se añade el impuesto eléctrico, que se aplica al dato de facturación de consumo y se le agrega al total. A este total, se le aplica el impuesto de valor añadido y así sacamos el total del coste anual para este caso como se aprecia en la Tabla 19: Factura anual para un PV de 385 kWh.

F. CONSUMO (€)	I.ELECTRICO (€)	IVA (€)	TOTAL (€)
237.915,3	12.163,89	52.516,63	302.595,82

Tabla 19: Factura anual para un PV de 385 kWh

5 ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

Una vez resueltos los distintos casos, se procede al análisis de rentabilidad de las distintas opciones. Dado que la potencia del parque fotovoltaico que ofrece la comisión europea [12] está escalada, mediante el uso de la herramienta de cálculo MATLAB, se procede a realizar el cálculo de la factura partiendo del caso de estudio de 100 kWh, incrementando en 25 kWh la potencia hasta el caso de 2 MWh.

En esencia, el código realiza los cálculos ya nombrados con anterioridad para cada uno de los casos de estudio que nos interesa. Particularmente se ha decidido escoger un paso de 25 kWh de manera que se refleje un cambio notorio en la factura y que de pie a un análisis posterior gracias a la amplitud de los casos calculados. El código dispone de aproximadamente 200 líneas debido a la complejidad de la casuística tan extensa que tiene el problema, ya que, según qué hora y qué mes se está analizando, hay que realizar un tipo de operación.

De forma esquemática, la Figura 19: Diagrama de flujo del cálculo de la factura, muestra como el código realiza el cálculo de la factura.

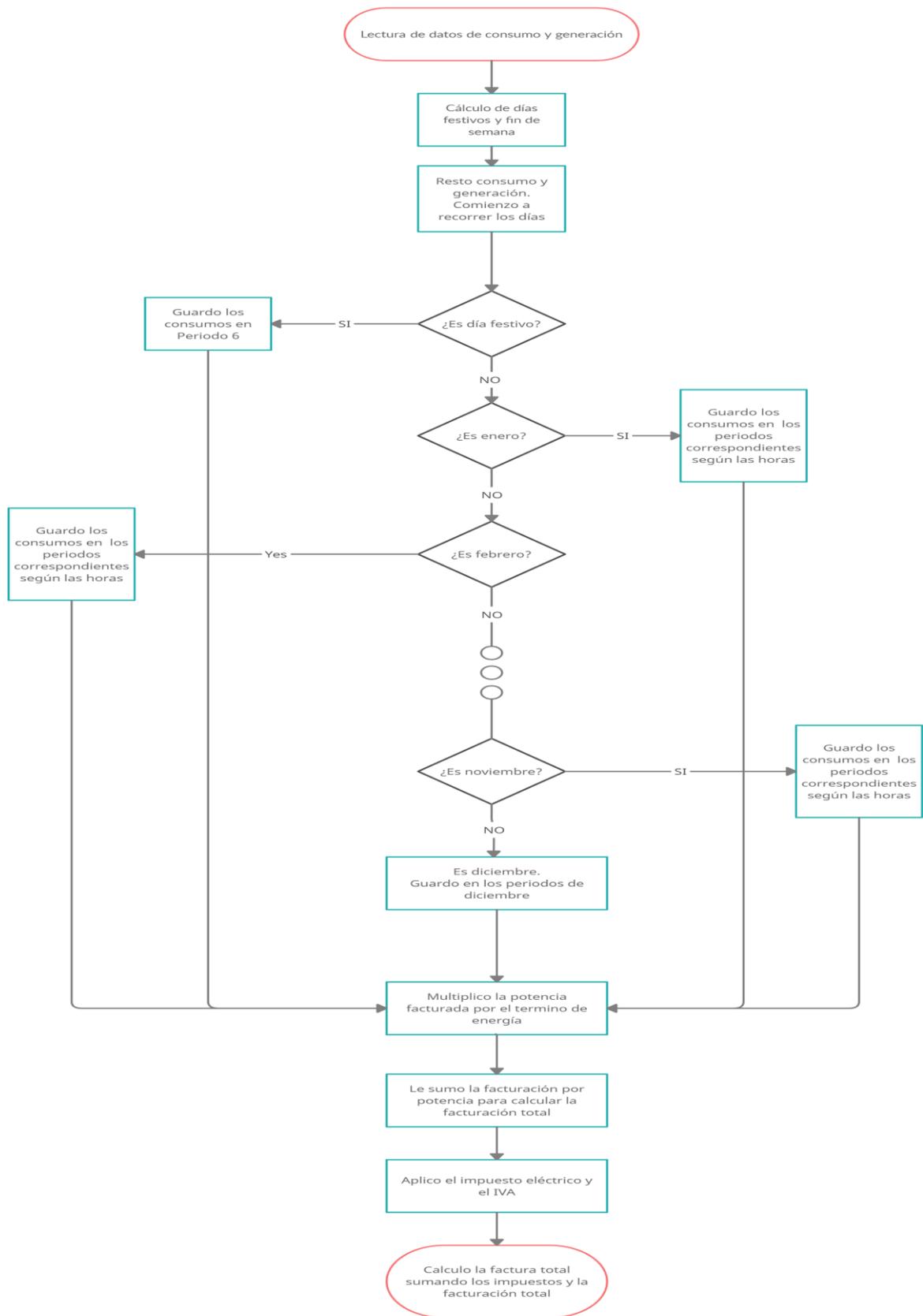


Figura 18: Diagrama de flujo del cálculo de la factura

Una vez determinado los casos de estudio, y antes de profundizar en los casos, un breve recordatorio de términos económicos para la mejor comprensión de los resultados. Los medidores de rentabilidad de los que se hará uso son los siguientes: Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno y el Payback (PB). Estos indicadores mostrarán que rentable son los distintos proyectos.

El estudio se realizará para una duración de 15 años. El valor de la inversión inicial es el resultado del gasto invertido en realizar el parque fotovoltaico más la factura anual con la instalación del parque, es decir, varía según el caso de estudio. Como beneficio anual, tomaremos el ahorro que aporta la instalación en la factura. Esto lo calcularemos como la diferencia entre la factura en el caso en el que no existe el parque fotovoltaico y la factura del caso en el que nos encontremos.

De forma gráfica, como se puede ver en la Tabla 20, se puede apreciar como quedan las facturas y los distintos casos de estudio.

	Potencia kWh	Factura (€)	Ahorro anual (€)	N.º Paneles (Uds.)	Inversión (€)
Caso 1	0	397.121,6	0,0	0	0,0
Caso 2	100	372.527,5	24.594,0	357	51.329,2
Caso 3	125	366.379,0	30.742,5	446	67.312,7
Caso 4	150	360.230,5	36.891,0	535	83.296,2
Caso 5	175	354.082,0	43.039,6	625	93.575,0
Caso 6	200	347.933,5	49.188,1	714	100.058,5
Caso 7	225	341.785,0	55.336,6	803	110.242,0
Caso 8	250	335.636,5	61.485,1	892	118.725,4
Caso 9	275	329.488,0	67.633,6	982	134.804,2
Caso 10	300	323.342,2	73.779,4	1.071	151.087,7
Caso 11	325	317.222,2	79.899,3	1.160	161.571,2
Caso 12	350	311.242,8	85.878,8	1.250	170.150,0
Caso 13	375	305.445,5	91.676,1	1.339	186.133,5
Caso 14	400	299.798,1	97.323,5	1.428	200.117,0
Caso 15	425	294.280,6	102.841,0	1.517	210.300,4
Caso 16	450	288.865,2	108.256,4	1.607	218.879,2
Caso 17	475	283.611,5	113.510,0	1.696	229.062,7
Caso 18	500	278.600,6	118.520,9	1.785	237.546,2
Caso 19	525	273.872,1	123.249,4	1.875	253.625,0
Caso 20	550	269.489,4	127.632,2	1.964	269.908,5
Caso 21	575	265.407,6	131.713,9	2.053	280.392,0
Caso 22	600	261.595,3	135.526,3	2.142	288.875,4

Tabla 20: Factura para todos los casos desde 100 kWh a 600 kWh

5.1 Valor actual neto (VAN)

El VAN indica si la ejecución de un proyecto es rentable económicamente o no según salga el resultado positivo o negativo. La fórmula para obtener el VAN la siguiente:

$$VAN = -C_0 + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{C_i}{(1+r)^i}$$

Donde:

- C_0 : inversión inicial
- C_i : Ahorro de la factura obtenidos por autoconsumo y/o venta de excedente fotovoltaico.
- r : Tasa de interés

Un valor del VAN positivo indica que el proyecto es rentable mientras que un valor negativo indica que el proyecto no es viable.

Como podemos ver en la Tabla 21: Cálculo del VAN para los casos desde 100 kW hasta 600 kW para una tasa de interés de 4%, todos los casos obtenidos tienen un VAN positivo, queriendo decir que todas las opciones son rentables económicamente.

	Potencia (kWh)	C_0 (€)	C_i (€)	VAN
Caso 1	0	0,0	0,0	0,0
Caso 2	100	106.447,0	24.594,0	166.999,0
Caso 3	125	139.532,3	30.742,5	202.275,2
Caso 4	150	172.617,5	36.891,0	237.551,5
Caso 5	175	193.697,0	43.039,6	284.833,5
Caso 6	200	207.314,8	49.188,1	339.577,1
Caso 7	225	228.394,3	55.336,6	386.859,2
Caso 8	250	245.954,8	61.485,1	437.660,2
Caso 9	275	279.237,3	67.633,6	472.739,1
Caso 10	300	312.943,6	73.779,4	507.363,9
Caso 11	325	334.644,0	79.899,3	553.707,9
Caso 12	350	352.401,8	85.878,8	602.432,0
Caso 13	375	385.487,1	91.676,1	633.803,0
Caso 14	400	414.432,4	97.323,5	667.647,5
Caso 15	425	435.511,8	102.841,0	707.913,9
Caso 16	450	453.269,6	108.256,4	750.366,8
Caso 17	475	474.349,1	113.510,0	787.699,5
Caso 18	500	491.909,6	118.520,9	825.851,8
Caso 19	525	525.192,1	123.249,4	845.142,9
Caso 20	550	558.898,4	127.632,2	860.165,5
Caso 21	575	580.598,8	131.713,9	883.847,5
Caso 22	600	598.159,3	135.526,3	908.674,5

Tabla 21: Cálculo del VAN para los casos desde 100 kW hasta 600 kW para una tasa de interés de 4%

Visualizando los resultados, es interesante resaltar que el VAN no para de crecer con el aumento de la potencia instalada. Es por ello por lo que el estudio se amplía a la potencia máxima que permite el centro sanitario por espacio. Esta ampliación del límite de estudio nos permitirá ver toda la casuística posible, incluyendo valores significativos como máximos y mínimos en los indicadores económicos. Aunque la máxima potencia alcanzable mediante el primer tipo de panel fotovoltaico es 1250 kWh (debido al espacio máximo disponible), el estudio se lleva a cabo hasta 2000 kWh de manera que se pueda apreciar cómo evoluciona la curva del VAN.

Matizado esta adicción de casos de estudio, de forma gráfica podemos ver cómo evoluciona el VAN en la Figura 19. Resaltar de esta figura que el caso donde el VAN se hace máximo es para una instalación de 750 kW mientras

que, pasado ese umbral, este índice comienza a decaer.

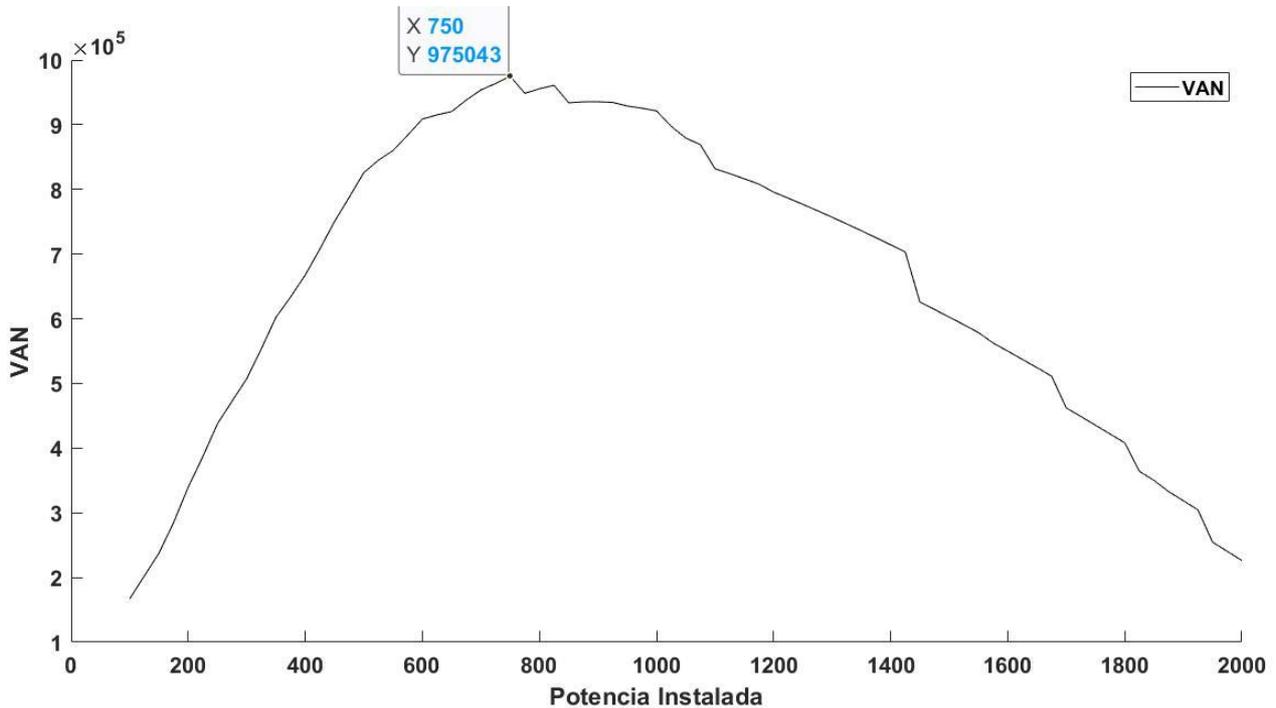


Figura 19: Evolución del VAN con el aumento de la potencia instalada en el PV

Se aprecian varias discontinuidades en la curva del VAN. Esto es debido a la elección del inversor, puesto que existe una gran diferencia de inversión conforme se va aumentando la potencia del parque fotovoltaico. A su vez, es el responsable de que caiga con mayor pendiente conforme evoluciona la inversión.

5.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)

El TIR es la tasa de interés máxima que soporta un proyecto manteniendo la rentabilidad. Es decir, el TIR se calcula haciendo que el VAN sea cero y calculando la tasa de interés que aparece en la fórmula.

$$VAN = 0 = -C_0 + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{C_i}{(1+r)^i}$$

O lo que es lo mismo:

$$0 = -C_0 + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{C_i}{(1+TIR)^i}$$

Como pasaba con el VAN, todos los proyectos tienen un TIR positivo como se puede ver en la Tabla 22, lo cual reafirma los resultados obtenidos en el apartado anterior. Además, se observa que el TIR sale con un valor muy elevado, indicativo de que es una inversión muy favorable.

	Potencia kWh	C ₀ (€)	C _i (€)	TIR
Caso 1	0	0,0	0,0	0
Caso 2	100	106.447,0	24.594,0	0,22
Caso 3	125	139.532,3	30.742,5	0,21
Caso 4	150	172.617,5	36.891,0	0,20
Caso 5	175	193.697,0	43.039,6	0,21
Caso 6	200	207.314,8	49.188,1	0,23
Caso 7	225	228.394,3	55.336,6	0,23
Caso 8	250	245.954,8	61.485,1	0,24
Caso 9	275	279.237,3	67.633,6	0,23
Caso 10	300	312.943,6	73.779,4	0,22
Caso 11	325	334.644,0	79.899,3	0,23
Caso 12	350	352.401,8	85.878,8	0,23
Caso 13	375	385.487,1	91.676,1	0,23
Caso 14	400	414.432,4	97.323,5	0,22
Caso 15	425	435.511,8	102.841,0	0,22
Caso 16	450	453.269,6	108.256,4	0,23
Caso 17	475	474.349,1	113.510,0	0,23
Caso 18	500	491.909,6	118.520,9	0,23
Caso 19	525	525.192,1	123.249,4	0,22
Caso 20	550	558.898,4	127.632,2	0,22
Caso 21	575	580.598,8	131.713,9	0,21
Caso 22	600	598.159,3	135.526,3	0,21

Tabla 22: Cálculo del TIR para los casos desde 100 kW hasta 600 kW

Como pasaba con el caso del VAN, para el cálculo del TIR también se ha ampliado el caso de estudio a la máxima potencia admisible por el espacio proporcionado por el centro sanitario. Como se puede comprobar en la Figura 20, los primeros casos son aquellos que presentan mejores valores. Los valores de TIR de los casos con mayores potencias se acercan a la tasa del 4% con la cual se calculó el VAN, lo que hace ver que a partir de las últimas potencias los índices económicos pierden valor, lo suficiente como para descartarlos como opciones a considerar. No obstante, los primeros proyectos con potencias menores presentan unos índices en torno al 20%, lo que implica que son buena inversión.

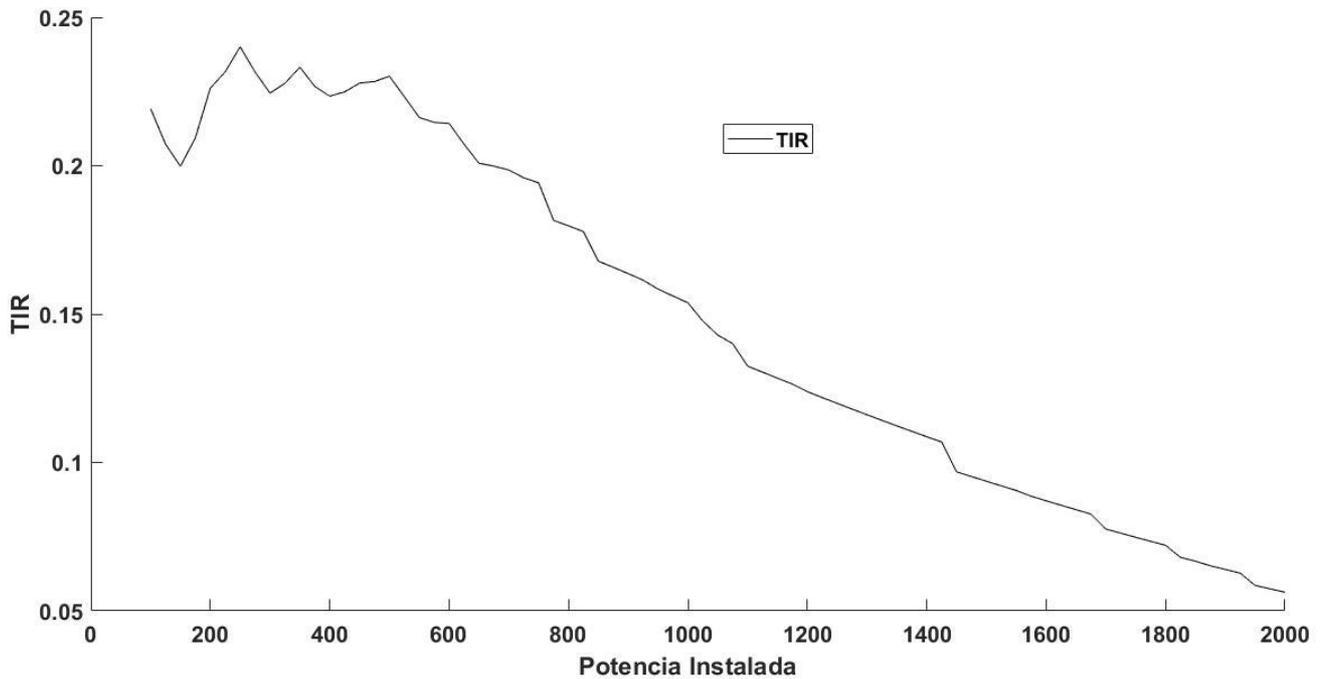


Figura 20: Evolución del TIR con el aumento de la potencia instalada en el PV

5.3 Periodo de retorno o Payback (PB)

Por último, la manera de saber en cuantos años se recupera la inversión inicial del proyecto, se hace uso del llamado periodo de retorno o payback. Se calcula anulando de nuevo el VAN y dejando como incógnita esta vez el número de años.

$$VAN = 0 = -C_0 + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{C_i}{(1+r)^i}$$

Es decir,

$$0 = -C_0 + \sum_{i=1}^{\text{años}} \frac{C_i}{(1+r)^i}$$

Como era de esperar, para las peores inversiones obtenemos, como se puede apreciar en la Tabla 23: Payback de todos los casos desde 100 kW hasta 600 kW, los peores valores de PB, lo cual no significa que sea una mala inversión puesto que siguen siendo inferior a 3 años. Resultados excelentes teniendo en cuenta que la mayoría de los proyectos rondan un PB de mínimo 7 años.

	Potencia (kWh)	C ₀ (€)	C _i (€)	Payback (años)
Caso 1	0	0,0	0,0	0,00
Caso 2	100	106.447,0	24.594,0	4,3
Caso 3	125	139.532,3	30.742,5	4,5
Caso 4	150	172.617,5	36.891,0	4,7
Caso 5	175	193.697,0	43.039,6	4,5
Caso 6	200	207.314,8	49.188,1	4,2
Caso 7	225	228.394,3	55.336,6	4,1
Caso 8	250	245.954,8	61.485,1	4,0
Caso 9	275	279.237,3	67.633,6	4,1
Caso 10	300	312.943,6	73.779,4	4,2
Caso 11	325	334.644,0	79.899,3	4,2
Caso 12	350	352.401,8	85.878,8	4,1
Caso 13	375	385.487,1	91.676,1	4,2
Caso 14	400	414.432,4	97.323,5	4,3
Caso 15	425	435.511,8	102.841,0	4,2
Caso 16	450	453.269,6	108.256,4	4,2
Caso 17	475	474.349,1	113.510,0	4,2
Caso 18	500	491.909,6	118.520,9	4,2
Caso 19	525	525.192,1	123.249,4	4,3
Caso 20	550	558.898,4	127.632,2	4,4
Caso 21	575	580.598,8	131.713,9	4,4
Caso 22	600	598.159,3	135.526,3	4,4

Tabla 23: Payback de todos los casos desde 100 kW hasta 600 kW

Por último, el análisis económico del payback también se ha ampliado como no podía ser de otra forma. De igual forma que pasaba con el TIR, los casos de menores potencias presentan los menores tiempos de retorno de la inversión. Estos datos serán cruciales posteriormente para discernir que potencias son las mejores opciones para la implementación del PV.

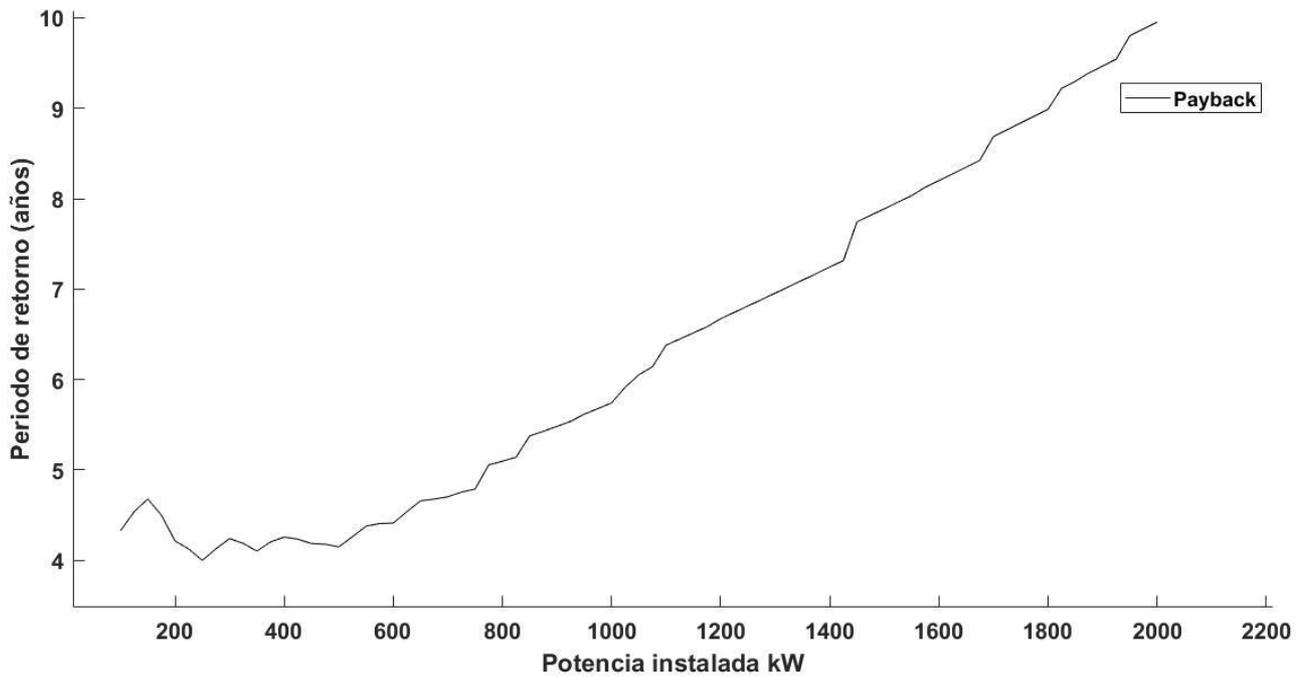


Figura 21: Evolución del payback con el aumento de la potencia instalada en el PV

5.4 Análisis de los distintos proyectos

A la vista de los resultados obtenidos por las distintas variables económicas usadas, procedemos a realizar un análisis detallado de que opción de las presentadas en los cálculos puede ser la óptima para el centro sanitario.

En primer lugar, la limitación de la potencia a escoger para el parque fotovoltaico viene dada por el consumo que presenta el centro sanitario. Escoger una potencia acorde a los consumos es lo más recomendado puesto que así es como tendrá menores pérdidas energéticas. Es por lo que el estudio está limitado hasta 600 kW de instalación pico puesto que, como se puede apreciar en la Figura 22: Generación frente a consumo el día 24 de noviembre para los casos de 100, 200, 400 y 600 kWh, la implantación de un PV de mucha potencia de instalación pico representa una pérdida energética abrumadora para días con un consumo bajo como es el 24 de noviembre.

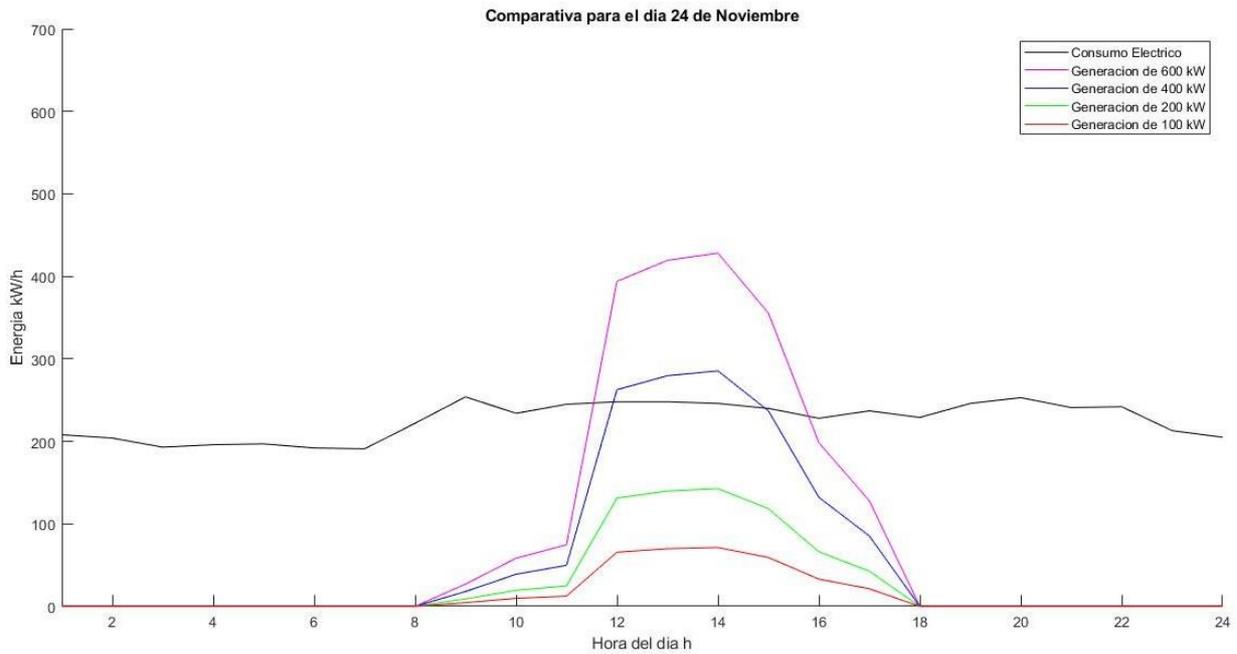


Figura 22: Generación frente a consumo el día 24 de noviembre para los casos de 100, 200, 400 y 600 kWh

Así mismo, también podemos observar, en la Figura 23: Generación frente a consumo el día 6 de agosto para los casos de 100, 200, 400 y 600 kWh, que para esa misma instalación una potencia del caso límite para un día con un consumo muy alto, como es el 6 de agosto, la curva de generación se adapta mejor que los casos con menos potencia pico instalada.

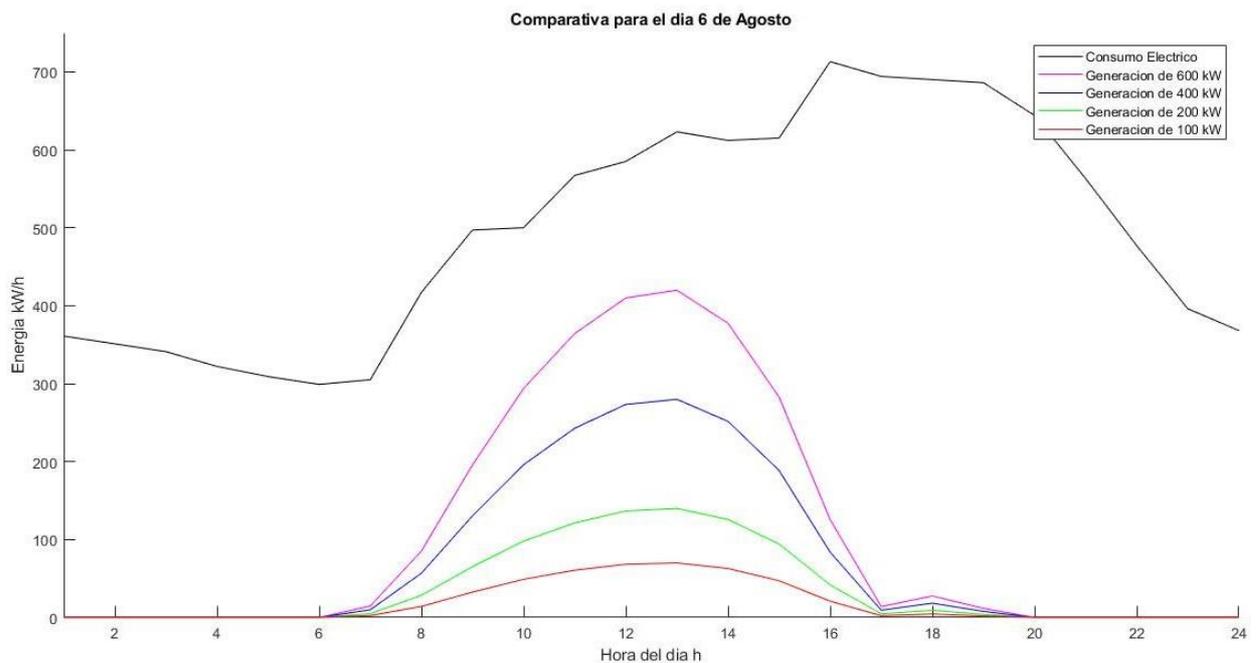


Figura 23: Generación frente a consumo el día 6 de agosto para los casos de 100, 200, 400 y 600 kWh

Analizándolo por último desde un punto de vista de consumo medio, como se puede observar en la Figura 24:

Generación frente a consumo el día 14 de enero para los casos de 100, 200, 400 y 600 kW, hay curvas de generación que sobrepasan el consumo y otras que se quedan lejos de igualar la generación al consumo.

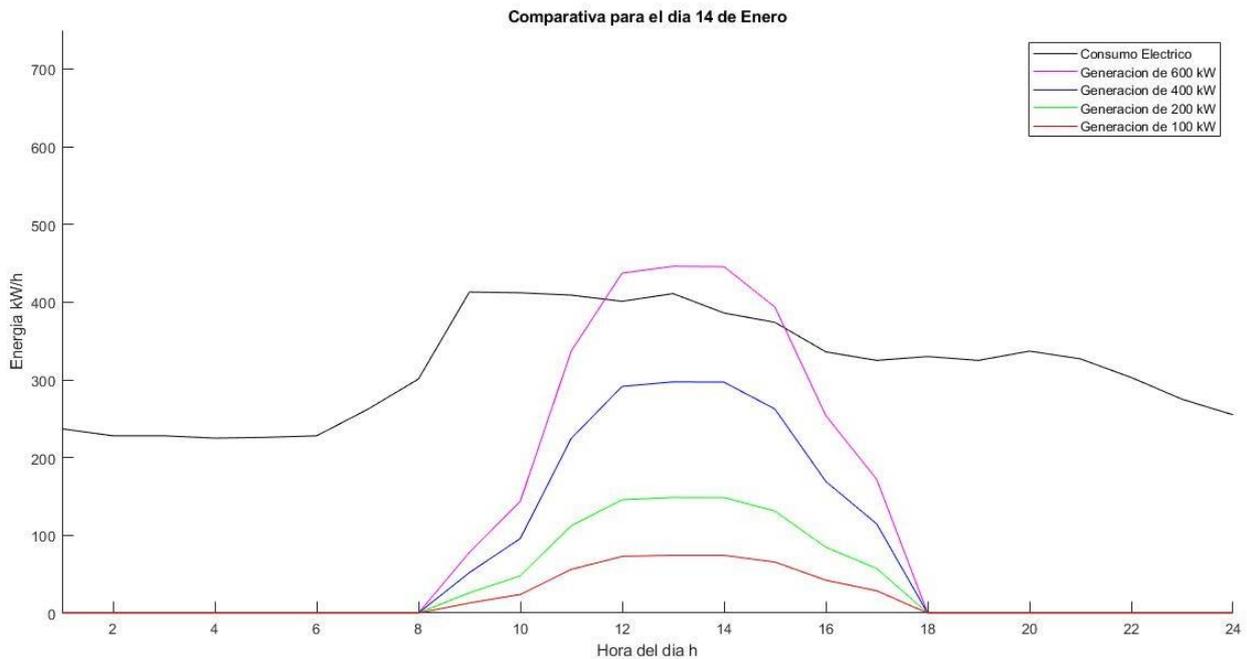


Figura 24: Generación frente a consumo el día 14 de enero para los casos de 100, 200, 400 y 600 kW

Una vez puesto de manifiesto las magnitudes de potencia que pueden llegar a proporcionar los parques, el objetivo del trabajo es encontrar una potencia que se ajuste mejor a nuestra curva de consumo proporcionando las menores pérdidas dado que, como decíamos al principio, nuestra meta es la rentabilidad del proyecto.

Como se mostraba en la Tabla 21: Cálculo del VAN para los casos desde 100 kW hasta 600 kW para una tasa de interés de 4%, cuanto mayor es la potencia del parque, mejor VAN obtenemos. Esto se debe a que el aumento de la generación en los casos de estudio siempre disminuye la diferencia entre consumo y generación, como se puede observar en la Figura 24: Generación frente a consumo el día 14 de enero para los casos de 100, 200, 400 y 600 kWh. Si ampliásemos los casos de estudio, llegaría un momento en el que el aumento de la potencia no haría aumentar el VAN puesto que la diferencia entre consumo y generación siempre sería cero.

No obstante, las variables económicas no tienen en cuenta que toda generación superior al consumo eléctrico del centro sanitario es energía que estamos tirando puesto que no tenemos opción a vertido eléctrico para los casos superiores a 100 kWh, que es donde se centra el grueso del proyecto.

La primera opción de una instalación de 100 kW se queda muy corta de generación para los consumos que presenta el centro sanitario. De todas las opciones evaluadas es la que tiene menor ahorro económico anual y la que tiene un mayor periodo de retorno de la inversión. Además, el beneficio que presenta esta opción es que, al ser una instalación de 100 kW, tiene opción de vertido a la red. Sin embargo, al tener unos consumos tan altos esta situación nunca se va a dar. Esto hace que la opción deje de ser llamativa.

El sexto caso, es el caso que está más cercano a la generación igual al mínimo consumo anual del centro sanitario. Este resultado concuerda con el obtenido en el apartado 4.1. Tiene un periodo de retorno de 4 años, el cual es aceptable, pero compite con mejores opciones en cuanto a VAN y TIR.

Como ya vimos en el apartado 4.2, el consumo medio anual del centro es de 337,54 kW, por lo que una buena opción es realizar una instalación de un parque fotovoltaico con una generación real que se aproxime a este consumo. Escogiendo esta opción para el desarrollo del proyecto estaríamos ante la elección entre los casos 13

y 14, o hablando en términos de potencia, entre 375 y 400 kW. Ambas opciones presentan unos índices económicos excelentes, puesto que rondan los 4,3 años de periodo de retorno y buenos VAN y TIR.

La instalación de mayores potencias no concuerda mucho con este caso de estudio, siempre y cuando se busque autoconsumir la mayor cantidad de energía y evitar excedentes.

6 CONCLUSIÓN

Como se explicaba en la introducción, el objetivo del trabajo es el análisis de rentabilidad de distintas potencias para la instalación de un parque fotovoltaico de forma que suplamos los consumos de un centro sanitario. La restricción de espacio planteaba una limitación para el problema, pero se ha comprobado que se dispone de espacio suficiente para la instalación de todos los casos vistos en el trabajo.

A la vista de los datos obtenidos durante la memoria, queda expuesto que la acogida del proyecto al autoconsumo con vertido a la red eléctrica no es una opción factible puesto que la generación queda muy lejos del consumo eléctrico y, por tanto, difícilmente existirán horas con venta de energía a la red.

Podemos distinguir varios escenarios posibles según la mentalidad del inversor. La primera situación es que el promotor del proyecto desee una instalación donde la curva de generación se ajuste lo máximo posible a la de consumos, obteniendo así una factura reducida gracias al aporte energético en las horas donde el sol aporte irradiación a los paneles. En este escenario, los mejores casos son aquellos que van desde 150 kWh hasta 225 kWh, que representan los proyectos donde tendremos una generación de energía muy ajustada al consumo. Todo lo generado es consumido y existen muy pocas pérdidas de energía. Sin embargo, este tipo de proyectos no disponen de los mejores índices económicos. Tienen los periodos de retorno más bajos de todos los casos que se han analizado. Como se decía con anterioridad, este tipo de inversión está orientada a la eficiencia energética, por lo que, si la directiva quiere gastar el menor dinero posible ajustando la curva de generación lo más posible al consumo del centro, estas son las opciones más recomendables, rondando un coste de inversión entre 170.000 € y 230.000 €, con un ahorro anual entre 36.000 € y 55.000 €.

En caso de que el promotor del proyecto no disponga de suficiente capital y quiera desembolsar el mínimo posible, las opciones entre 125 kWh y 150 kWh son las adecuadas. Presentan los peores VAN. Sin embargo, tiene unos de los TIR más altos y un periodo de retorno de tan solo cuatro años. Es una inversión buena para un inversor conservador que quiera recuperar el desembolso en poco tiempo.

Por último, si se dispone de capital para hacer cualquier tipo de inversión, los casos de generación entre 350 kWh y 450 kWh tienen buenos índices económicos. No son los más eficientes desde el punto de vista energético puesto que generan energía por encima de los consumos mínimo, es decir, en las horas de los días que exista un consumo inferior a la media habrá energía que se esté desperdiciando. No obstante, son los que más se ajustan al consumo medio anual y son de los que mejores índices económicos muestran. La ejecución del proyecto tendría un coste entre 350.000 € y 450.000 € con un ahorro anual entre 85.000 € y 110.000 €. Cualquiera de estos proyectos sería beneficioso para el centro sanitario en cuestión. El VAN de cada proyecto aumenta con respecto al anterior. Además, cuenta con un periodo de retorno de la inversión muy bajo, aproximadamente 4 años para todos los casos, lo que lo hace muy interesante a ojos de los inversores, puesto que, a pesar de ser una inversión cuantiosa, en poco tiempo daría frutos. El TIR de estos proyectos disminuye conforme se aumenta la potencia instalada. Sin embargo, entre el primer caso y el último, sólo varía un 1%.

Los casos mayores a 450 kWh presentan buenos índices de VAN, TIR y payback, mejores que todos los casos planteados con anterioridad. No obstante, se produce energía que no se puede utilizar puesto que el consumo que necesita el centro sanitario queda cubierto en muchas horas, quedando una cantidad de energía no aprovechable que irá en aumento conforme la potencia instalada del parque aumente. Lo interesante de los casos mayores de 450 kWh es que presentan los mayores VAN y unos periodos de retorno que comienzan a ascender conforme aumentamos la potencia del parque fotovoltaico, partiendo de 4 años hasta llegar a los 10 años para una potencia de 2 MW. Este índice económico pone de manifiesto que la instalación de más potencia en el parque no tiene por qué implicar un ahorro para el centro sanitario. Estos casos tienen el TIR más bajo, pero como se comentaba en el apartado del TIR, sigue siendo mayor que la tasa del 4% empleada en el cálculo del VAN.

Se aprecia claramente en la Figura 19 que a partir de 1000 kWh todas las opciones de realizar dicha inversión comienzan a lucir menos puesto que los índices económicos empeoran. Son las opciones donde el VAN comienza a descender, mayores tiempos de retorno, desde 5 años hasta 10, y menor TIR, partiendo de un 15% hasta llegar a únicamente un 5%, haciendo que dichos casos, a pesar de ser opciones rentables económicamente, queden relegadas a un segundo plano.

Ya se comentó con anterioridad que el caso de 750 kWh presenta el mayor VAN de todos los casos estudiados,

como se puede apreciar en la Figura 25 .

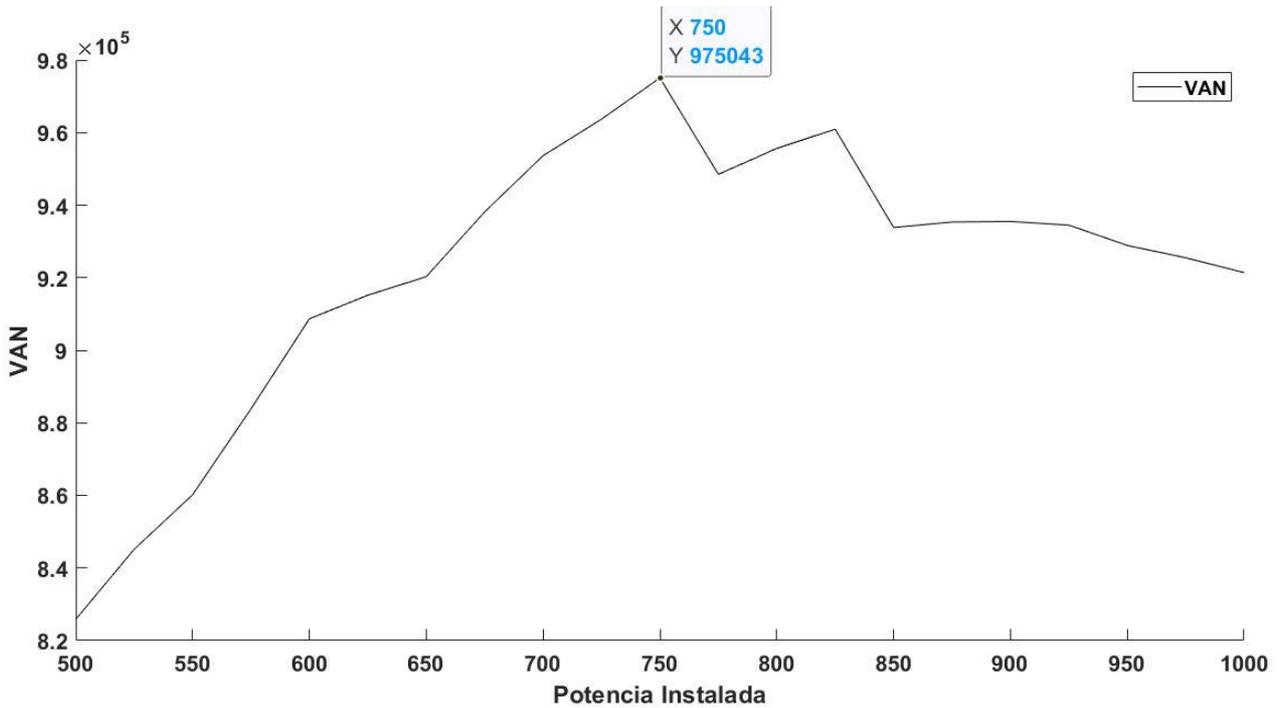


Figura 25: Evolución del VAN con el aumento de la potencia desde 500 kWh hasta 1000 kWh

Consta de un periodo de retorno de 4,8 años y un TIR aceptable, comparando con el resto de los casos, del 19,5%. Esta inversión tendría un coste de 737.000 €, contando con un ahorro anual de 171.358,3 €. Es una de las inversiones más sólidas puesto que presenta los mejores índices. Las potencias cercanas al caso de 750 kWh son igualmente validas y opciones para tener en cuenta, pudiendo escogerlas por necesidad de un menor tiempo de retorno o un mayor TIR.

A la luz de los resultados obtenidos en estos casos, se pueden plantear distintas opciones para un promotor con suficiente capital.

La primera es optar por invertir en potencias mayores a 450 kWh, disminuyendo nuestra factura anual igualmente, pero sin utilizar ese excedente de energía generado. Esto es apreciable en la Figura 26, en la que observamos que a partir de una instalación de 350 kWh comienza a existir un exceso de generación frente a consumo.

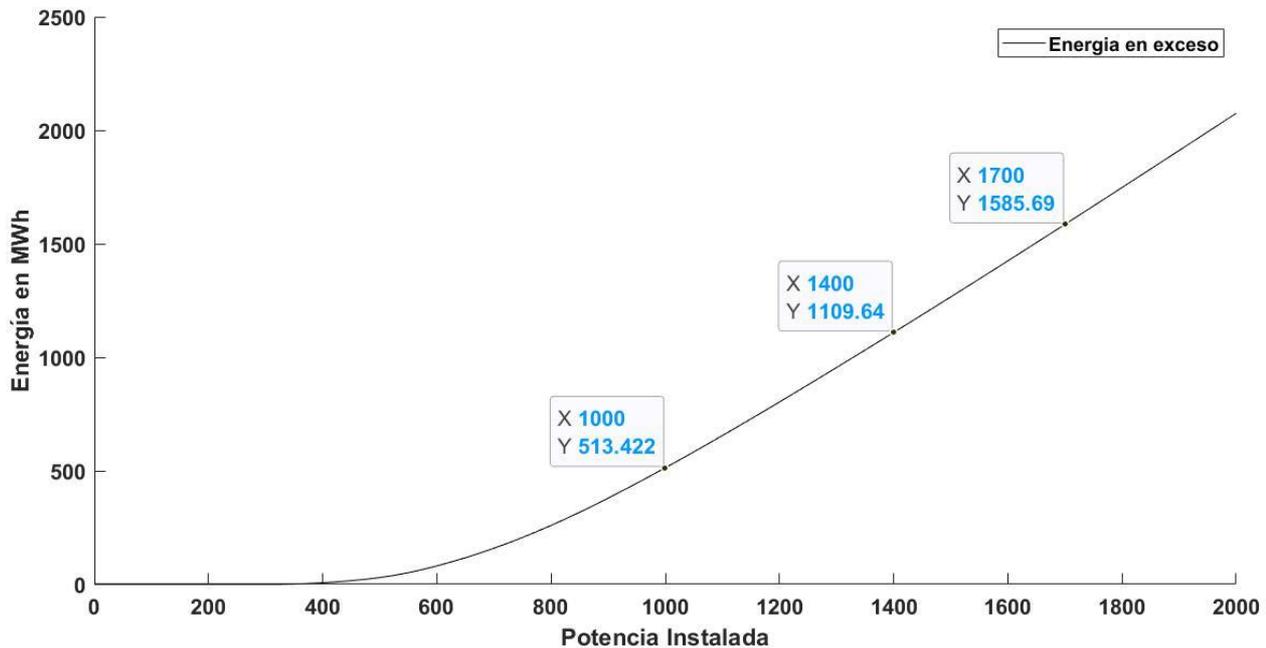


Figura 26: Diferencia entre consumo y generación para las instalaciones desde 0 kWh hasta 2MW

Estaríamos acercándonos al mejor valor del VAN cuanto mayor sea la potencia instalada. El parque trabajaría por debajo de su mejor rendimiento dado que el inversor, hará que los paneles fotovoltaicos trabajen para ofrecer la energía que se está consumiendo, que en muchas horas del año es menor que la potencia máxima que puede ofrecer el PV. Desde un punto de vista medio ambiental, no es la mejor elección puesto que se estaría agravando la huella de carbono.

La segunda opción es investigar en el mercado de almacenamiento de energía eléctrica. Si la empresa realiza un estudio de rentabilidad sobre almacenamiento y llegan a la conclusión de que es una buena idea, la implementación de dicho equipo disminuiría la factura aún más puesto que se podría utilizar energía almacenada en otros periodos donde no exista luz solar y donde el periodo de facturación es más caro, ahorrando dinero en la factura anual. Actualmente el almacenamiento es uno de los objetivos energéticos de investigación en los que más dinero se está invirtiendo para desarrollar esa tecnología. Es por eso que los equipos actuales, como suele ocurrir cuando una tecnología está en desarrollo, ofrecen unas prestaciones bajas para la inversión que suponen.

La tercera y última de las opciones es, dado que tiene provisiones de energía eléctrica en ciertos periodos, incrementar el uso de los equipos que consuman electricidad en los periodos de luz. Es decir, trasladar los consumos a los periodos de luz solar, de forma que el grueso de los consumos se concentre en tramos horarios donde tenemos exceso de energía, cambiando así la curva del consumo adaptándola a la curva de generación. Esto evidentemente requeriría de un estudio por parte del centro sanitario para ver si es un ejercicio factible, puesto que habrá usos de equipos inamovibles para el correcto funcionamiento del centro.

7 ANEXO I. CONSUMOS DEL CENTRO SANITARIO

A continuación, se muestran las curvas de consumo de los distintos meses del año 2019, expresados en kWh. Estos consumos han sido facilitados por un centro sanitario del sector servicios y han sido utilizados para realizar los cálculos de las facturas para todos los casos [13].

Resultados en verde se encuentran los días del año festivos y pertenecientes a fines de semana, puesto que esos días particularmente se facturan con el periodo tarifario más barato.

Enero	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	247	245	237	234	236	237	252	287	306	270	272	268	270	267	266	265	265	261	280	290	282	279	248	249
2	244	237	237	235	237	235	257	307	391	388	379	367	370	351	342	303	305	299	318	330	305	287	243	224
3	222	220	218	215	219	222	239	296	397	382	383	367	364	358	326	303	298	314	316	318	295	290	244	234
4	233	227	225	227	227	232	247	317	395	380	372	371	368	367	332	304	302	295	316	329	300	291	255	241
5	236	232	235	235	237	240	239	262	288	269	262	254	244	239	251	242	245	242	255	286	266	262	245	240
6	236	237	233	236	231	235	237	258	284	271	270	266	258	251	251	249	247	254	272	292	286	279	256	246
7	249	243	240	239	243	244	268	298	315	306	298	298	294	289	285	282	275	279	284	288	278	278	256	250
8	245	248	241	240	239	243	262	313	414	417	422	402	393	385	379	331	323	323	345	343	320	312	277	257
9	265	244	235	236	230	239	268	307	416	416	407	403	393	376	386	340	329	322	335	350	320	306	261	244
10	240	239	229	235	234	240	253	322	429	435	427	406	393	373	373	338	323	334	331	356	322	331	276	258
11	252	252	247	246	247	252	267	322	425	429	421	412	401	404	399	337	324	333	338	362	335	315	264	250
12	246	240	241	237	238	238	238	262	289	271	280	269	267	262	267	256	256	258	277	287	273	276	259	242
13	235	230	234	230	229	232	233	254	284	271	279	273	283	261	266	251	254	254	270	288	272	280	260	242
14	237	228	228	225	226	228	262	301	413	412	409	401	411	386	374	336	325	330	325	337	327	303	275	255
15	240	234	233	225	225	231	249	312	417	404	406	403	389	378	381	325	323	325	337	336	309	299	259	240
16	239	228	221	229	225	224	241	303	392	402	405	386	391	383	362	323	328	304	324	332	307	307	257	235
17	239	233	232	238	230	232	254	303	407	397	418	391	379	364	349	312	323	317	332	335	325	306	268	253
18	235	234	229	233	235	232	253	310	407	414	408	398	389	375	363	318	322	311	323	336	311	305	273	248
19	238	232	228	224	221	222	228	249	270	265	258	250	253	244	247	253	244	240	252	274	253	252	238	229
20	225	219	210	214	213	215	211	235	260	244	257	252	246	240	245	245	241	243	248	277	261	270	237	231
21	224	224	217	215	217	222	246	293	412	413	404	388	384	389	366	326	337	346	329	346	338	302	262	243
22	238	235	230	231	235	235	246	308	431	424	418	404	395	390	383	341	324	325	334	335	321	308	251	229
23	228	216	212	217	213	220	230	299	405	399	427	405	404	382	389	346	339	344	326	353	311	306	270	240
24	234	223	215	215	214	211	226	291	402	405	396	394	399	392	376	342	335	311	327	341	308	302	248	235
25	234	224	225	222	229	222	238	297	414	409	413	400	391	369	367	387	423	370	362	384	309	310	250	239
26	236	232	229	224	224	232	229	267	295	257	296	268	274	267	267	280	258	256	277	308	285	303	260	251
27	245	240	233	237	236	233	218	243	271	249	260	252	252	248	265	270	255	247	266	284	280	302	272	257
28	245	239	238	241	246	243	270	341	461	478	486	464	502	491	431	389	378	359	368	386	353	364	297	276
29	266	260	256	255	256	251	270	322	415	424	437	421	417	405	410	361	350	336	350	345	314	314	266	247
30	239	233	221	221	221	226	245	313	418	423	434	422	417	417	414	374	347	356	352	350	324	319	263	244
31	232	245	230	224	226	232	241	300	413	421	433	424	407	406	395	339	325	323	357	342	318	305	252	238

Figura 27: Consumo en enero de 2019

Febrero	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	232	228	227	222	223	226	241	290	397	391	406	394	390	385	378	321	302	312	317	339	300	301	261	246
2	235	239	230	229	230	224	224	255	277	271	274	271	285	272	288	274	274	268	292	295	283	298	262	250
3	238	240	232	236	233	236	167	262	283	287	306	297	278	259	275	282	272	272	270	286	270	289	255	255
4	238	234	232	234	232	238	260	310	414	425	432	425	406	397	390	351	345	342	344	375	329	319	268	254
5	245	243	236	242	239	241	253	323	420	420	419	431	420	399	403	357	364	342	352	353	322	315	267	253
6	241	237	231	238	233	237	250	317	418	426	425	422	414	393	398	359	350	353	350	366	328	334	272	249
7	245	238	235	235	234	241	252	317	407	423	424	436	401	390	401	361	349	339	342	364	319	325	274	240
8	234	225	221	223	220	226	246	315	404	413	409	395	387	388	373	346	330	326	304	318	281	261	247	234
9	238	210	215	230	217	204	206	261	274	265	264	262	251	233	245	252	240	244	244	265	252	244	226	211
10	208	206	198	202	199	207	202	243	258	243	249	241	251	250	237	244	240	227	241	258	262	273	229	213
11	214	205	204	205	207	200	230	283	387	418	413	382	394	382	384	335	341	333	331	335	321	302	256	244
12	231	218	213	214	212	212	228	298	405	420	427	414	403	393	386	347	362	349	338	340	305	294	241	229
13	225	222	217	214	220	220	234	302	401	417	415	408	388	392	386	336	338	336	334	329	318	299	253	235
14	228	224	222	218	225	223	238	304	401	415	413	398	387	394	392	357	333	324	330	334	334	313	269	243
15	235	220	220	220	218	225	236	287	380	390	400	380	381	372	379	333	336	318	332	327	312	297	253	235
16	233	229	224	215	222	227	219	263	267	265	276	267	270	270	272	271	266	262	271	290	275	282	249	235
17	229	225	219	218	217	222	219	254	274	264	269	267	285	273	289	279	273	284	297	310	292	288	264	251
18	247	240	235	230	225	235	256	309	420	415	419	401	407	419	409	390	360	353	351	367	342	340	274	267
19	245	238	238	232	233	237	249	307	420	429	440	428	412	421	397	346	339	341	349	331	308	288	239	216
20	217	212	211	208	206	214	227	299	373	404	416	403	383	383	385	349	336	329	319	340	311	312	258	252
21	234	229	222	211	213	223	229	295	395	398	419	397	394	387	387	345	342	342	327	325	321	306	255	221
22	222	218	213	214	217	218	236	295	381	389	400	389	391	387	377	350	339	333	327	334	312	288	249	235
23	221	223	220	219	220	219	221	237	266	268	271	261	264	257	278	270	270	258	282	274	274	274	250	237
24	240	231	226	220	217	216	222	243	275	252	263	246	266	266	272	265	257	262	270	276	273	272	250	236
25	228	221	221	211	213	215	242	295	402	395	407	398	415	395	405	472	463	430	426	346	318	303	257	242
26	232	229	228	222	223	223	244	293	392	400	401	397	401	411										

Marzo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	221	212	207	209	205	208	224	281	371	360	363	358	360	360	341	365	422	390	376	326	296	284	248	231
2	216	212	206	202	207	205	205	239	247	241	255	245	249	240	253	260	250	253	250	255	253	251	232	217
3	218	215	205	213	208	206	217	235	245	239	243	249	253	259	256	259	257	254	265	274	271	255	238	227
4	220	212	204	210	210	211	238	292	375	390	392	386	381	372	378	330	339	333	320	331	302	295	242	237
5	221	215	211	212	209	213	222	284	375	389	396	398	385	362	359	326	338	324	328	333	310	287	239	220
6	214	213	211	211	208	205	216	284	380	373	386	389	383	375	366	337	340	319	308	319	299	280	241	225
7	226	225	219	212	216	211	222	289	364	389	383	371	378	366	348	322	316	322	308	325	306	291	237	225
8	223	214	212	210	211	215	225	283	370	373	378	392	383	381	368	335	317	332	322	327	316	295	259	249
9	232	227	224	220	220	224	224	239	257	249	250	244	258	251	255	264	271	264	263	280	267	264	240	239
10	233	226	219	214	216	213	214	232	240	239	261	275	268	259	270	263	240	242	245	273	277	262	236	228
11	222	214	207	211	207	210	231	294	393	384	386	384	551	482	465	387	374	363	355	346	309	303	238	236
12	234	228	217	219	215	218	228	285	364	383	406	399	407	384	400	447	461	475	441	414	385	321	260	253
13	239	235	224	222	218	220	232	288	371	381	392	404	400	409	407	464	474	434	400	338	320	333	272	250
14	247	250	235	233	235	241	254	297	404	408	428	413	420	414	399	395	492	437	388	325	331	315	269	248
15	242	234	232	225	229	236	243	299	401	385	412	403	426	411	409	502	484	464	441	349	327	299	269	252
16	244	243	234	233	236	233	235	261	285	273	277	259	276	271	279	268	268	439	345	304	287	295	259	248
17	242	245	230	225	229	228	226	243	263	267	265	242	258	260	275	377	351	349	329	278	270	269	242	238
18	234	224	223	223	226	228	247	296	397	397	405	399	418	413	393	367	378	498	432	401	339	312	258	243
19	237	237	231	232	228	233	243	298	410	397	422	414	394	384	388	344	325	344	323	317	312	306	260	250
20	244	233	226	221	223	229	244	290	394	427	400	394	393	385	386	347	338	347	344	330	315	306	278	253
21	244	234	230	225	225	234	250	295	383	402	414	418	402	392	403	347	347	348	333	339	320	307	245	239
22	237	232	227	224	222	228	245	288	384	389	402	409	410	395	406	349	345	330	351	354	323	302	260	244
23	231	235	226	224	232	225	232	239	268	260	283	288	286	286	306	293	272	264	274	278	285	280	264	239
24	236	234	226	223	225	224	228	235	262	253	277	275	295	287	293	281	270	274	261	275	276	271	247	243
25	235	231	231	225	223	229	263	299	386	401	439	420	423	399	404	521	485	429	417	355	352	330	279	260
26	247	241	233	230	226	232	250	303	386	396	413	409	407	411	407	362	353	502	470	358	325	308	266	255
27	248	244	242	233	232	240	256	305	375	413	422	424	420	409	413	378	527	471	427	397	353	316	265	255
28	243	238	242	234	229	231	249	298	389	403	407	406	398	389	391	357	474	417	395	362	310	306	267	252
29	238	235	234	243	232	231	251	291	382	392	398	395	400	392	399	481	480	434	407	395	342	306	255	253
30	237	230	229	227	226	227	227	247	254	257	281	280	270	268	302	284	397	347	262	288	273	259	244	239
31	230	233	225	215	211	218	229	259	253	257	250	257	253	269	260	264	256	252	255	266	274	239	228	238

Figura 29: Consumo en marzo de 2019

Abril	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	229	220	216	217	211	210	234	285	378	384	388	402	396	394	379	440	438	383	349	328	300	317	242	226
2	227	220	213	207	209	214	220	281	375	404	404	393	397	380	381	350	423	476	406	331	308	296	242	221
3	219	212	201	202	205	208	216	279	368	395	382	377	388	381	380	403	517	440	426	381	303	312	260	244
4	235	233	232	226	235	233	241	300	397	403	405	401	401	393	421	476	409	409	395	367	323	327	266	264
5	243	243	230	229	233	226	240	304	370	385	396	387	402	380	395	325	334	324	313	318	299	321	265	258
6	251	246	230	234	230	235	233	268	279	274	276	259	277	259	271	254	259	259	252	264	252	283	254	234
7	231	225	217	221	222	219	218	250	257	253	251	254	266	263	258	271	260	252	243	267	248	263	237	223
8	223	219	217	207	214	216	241	292	396	399	419	422	393	371	380	336	332	330	328	313	293	290	251	229
9	231	218	213	209	211	209	227	281	362	375	388	387	390	367	369	322	321	337	340	321	288	295	246	233
10	225	214	216	209	214	213	236	292	377	392	402	388	395	398	386	348	330	336	347	332	316	303	268	248
11	233	228	226	225	226	224	249	296	394	406	399	392	395	386	386	353	349	329	322	343	296	284	249	235
12	228	224	221	217	219	221	247	294	383	390	385	383	390	399	371	376	508	436	420	396	306	299	258	241
13	235	221	219	219	218	217	221	247	257	254	260	257	263	260	267	332	403	351	354	338	276	291	264	259
14	241	226	224	220	211	213	214	222	244	255	264	255	261	258	267	411	358	351	332	334	295	263	230	232
15	222	217	216	211	212	215	241	290	370	382	393	390	395	383	374	389	530	492	483	421	306	284	247	226
16	229	222	216	213	207	210	228	282	360	371	389	386	389	379	375	337	425	477	466	447	379	292	243	244
17	233	228	221	218	212	217	230	287	357	357	371	346	353	365	365	372	457	388	372	289	293	247	235	
18	228	216	207	212	209	200	211	256	268	264	269	268	276	267	261	258	255	262	257	264	257	255	223	223
19	218	213	209	206	208	207	222	260	281	274	275	274	282	282	281	277	259	262	263	259	237	245	218	218
20	211	206	203	206	203	202	199	234	251	246	258	242	256	253	258	252	243	224	227	235	226	244	232	226
21	224	218	221	214	210	212	205	229	251	237	257	244	249	245	252	247	237	238	263	257	240	250	232	223
22	215	212	203	203	204	198	228	280	367	369	389	381	381	378	391	335	348	349	337	320	294	300	272	241
23	226	217	214	211	211	205	219	276	364	392	407	397	384	373	376	350	345	318	320	305	283	273	236	221
24	218	209	206	207	208	203	221	277	368	380	399	395	383	361	364	333	325	325	322	312	297	295	237	226
25	217	217	211	213	209	209	226	282	371	387	401	387	373	364	349	318	313	314	320	297	276	264	232	231
26	223	214	214	211	214	216	230	279	372	366	357	360	362	355	338	316	373	329	312	292	272	259	232	228
27	221	219	211	211	209	207	208	229	235	250	263	261	263	268	264	298	297	289	285	292	272	281	248	239
28	230	220	224																					

Mayo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	279	271	266	260	257	254	260	293	319	319	342	350	377	388	384	396	413	415	416	392	358	344	304	297
2	285	278	268	250	252	256	267	326	420	474	487	505	505	525	541	543	536	520	508	461	407	382	331	317
3	308	283	273	269	256	245	260	311	408	419	453	445	471	493	480	450	477	463	475	426	376	364	315	286
4	267	256	256	256	253	254	254	256	292	281	302	299	299	329	342	349	338	335	346	346	327	316	286	265
5	271	251	239	238	239	237	237	267	285	291	295	288	291	290	297	299	316	306	328	329	320	316	278	264
6	253	259	252	245	248	242	264	317	420	426	423	426	419	453	438	430	446	437	434	406	376	357	311	276
7	261	252	247	245	244	247	252	309	427	432	452	467	466	468	500	453	458	456	468	447	386	363	312	292
8	286	267	256	254	255	249	263	316	424	451	439	450	459	450	477	425	380	379	388	377	374	350	292	287
9	283	257	247	251	245	247	260	312	430	437	442	440	476	464	472	423	424	455	442	421	400	366	321	288
10	279	267	256	247	244	247	257	297	424	433	482	494	521	512	506	467	481	495	464	469	402	358	318	306
11	305	293	268	250	256	257	244	259	307	307	323	361	373	365	382	396	402	412	435	418	396	388	351	331
12	315	310	301	273	275	271	264	279	292	342	362	358	369	378	383	395	404	425	438	438	406	393	365	336
13	337	309	297	285	283	272	293	340	447	498	527	543	574	578	590	575	574	599	577	557	498	446	373	353
14	327	312	295	288	283	284	288	348	421	469	484	507	521	518	376	359	578	559	533	542	452	431	356	342
15	328	321	290	288	279	278	273	322	405	430	532	525	548	544	558	543	549	541	534	534	467	455	373	354
16	309	305	290	280	271	277	270	348	450	462	541	559	597	588	590	559	569	574	544	525	463	443	391	353
17	317	293	273	260	262	262	274	322	405	422	423	429	441	444	437	409	396	405	411	396	375	346	303	281
18	265	261	265	261	260	265	258	279	295	321	313	307	318	318	322	332	334	343	337	335	320	298	287	272
19	272	267	259	254	255	254	253	272	293	299	287	286	298	306	322	319	318	331	330	325	321	308	284	270
20	265	258	248	241	241	243	260	296	396	405	415	435	453	462	469	433	438	451	448	437	372	372	323	288
21	269	261	254	249	244	249	247	300	398	406	451	481	482	495	517	487	490	500	494	475	413	395	337	316
22	299	273	268	258	253	251	272	318	422	440	485	492	521	525	545	517	527	529	530	501	426	398	318	302
23	284	262	253	248	246	244	255	325	429	460	490	528	528	537	549	535	529	521	515	524	450	411	339	304
24	291	282	279	258	248	243	252	329	416	430	457	480	500	492	508	466	473	460	483	459	412	385	326	297
25	293	284	254	240	236	240	227	257	289	281	302	313	320	327	332	344	345	357	372	376	353	326	314	292
26	281	262	243	240	235	235	230	252	268	272	303	335	339	340	347	345	356	361	377	382	372	358	320	310
27	286	270	252	252	249	245	281	331	426	470	505	530	573	525	525	523	498	512	421	426	532	475	381	368
28	351	326	301	297	293	283	290	349	467	504	547	579	595	597	599	549	551	525	520	517	495	447	383	355
29	319	306	297	291	287	286	293	378	471	508	530	551	549	496	381	435	567	566	551	531	449	422	359	320
30	317	297	281	281	263	260	271	363	461	495	547	552	565	585	583	556	549	553	553	540	458	413	358	318
31	305	288	274	262	261	254	259	328	414	472	509	549	563	570	570	549	530	520	526	514	449	404	340	304

Figura 31: Consumo en mayo de 2019

Junio	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	295	281	269	253	254	250	231	268	306	309	349	360	392	420	430	439	455	444	462	457	435	400	366	352
2	316	302	294	283	267	261	253	285	313	328	352	383	393	395	424	430	441	434	454	451	425	420	374	322
3	316	298	295	288	279	269	303	357	479	496	533	551	580	575	608	560	532	524	534	511	477	495	401	369
4	356	310	295	292	286	287	294	362	476	496	529	555	570	594	607	572	576	551	529	506	433	421	366	318
5	302	294	290	284	280	270	274	336	425	458	477	474	483	490	521	482	464	451	453	444	392	368	284	270
6	272	262	252	250	249	247	255	331	416	439	455	479	481	500	511	479	466	465	461	452	401	370	301	282
7	268	257	249	241	242	248	250	298	404	412	411	411	441	442	455	401	408	401	419	409	367	356	313	285
8	274	266	256	250	247	250	220	242	280	292	300	306	329	344	359	358	356	359	367	369	338	332	305	289
9	271	264	256	249	249	246	239	271	297	291	292	244	257	249	247	347	380	382	383	382	356	338	309	284
10	253	246	236	236	226	232	243	294	400	421	451	463	495	511	521	488	496	495	499	485	422	395	316	291
11	261	251	244	240	237	237	243	314	427	445	461	469	475	510	508	492	495	501	493	467	410	384	309	290
12	264	248	250	241	247	247	252	319	422	457	482	493	507	516	509	477	481	488	486	480	418	400	325	305
13	277	265	265	251	253	252	264	330	436	452	471	491	505	524	519	486	489	483	484	465	416	413	347	305
14	293	270	265	256	261	260	274	330	404	430	460	455	455	465	460	411	397	393	411	398	352	329	283	261
15	250	244	241	237	238	236	231	249	272	278	280	283	299	309	328	327	336	334	347	363	350	348	334	276
16	267	264	252	249	241	244	235	257	278	284	309	318	332	332	341	338	348	337	362	357	339	329	310	279
17	268	256	253	245	242	241	268	321	414	456	471	492	528	535	555	520	532	507	511	488	438	425	344	313
18	289	267	275	250	247	250	261	336	442	473	480	510	523	514	520	494	505	504	503	479	411	383	321	298
19	294	280	262	250	247	249	265	344	447	468	480	464	484	512	507	487	503	522	519	500	458	408	336	307
20	285	281	280	260	256	257	273	370	456	490	492	503	528	538	546	509	513	508	523	488	442	414	352	316
21	292	279	269	268	278	262	266	334	440	456	486	510	522	528	527	518	512	504	522	521	458	415	351	333
22	306	291	272	268	261	250	247	271	309	306	331	352	370	381	399	429	435	443	452	448	423	417	379	343
23	322	295	284	280	266	260	251	287	305	339	361	365	396	406	440	429	436	450	457	449	444	414	368	351
24	334	305	296	296	287	285	302	367	470	495	538	526	523	537	550	526	551	544	547	515	458	419	378	363
25	340	296	285	284	286	287	292	370	471	521	533	574	574	578	590	561	545	533	528	536	514	472	392	361
26	341	333	309	288	292	293	303	382	491	537	547	572	603	611	611	584	604	562	592	583	487	445	389	365
27	358	351	348	330	299	294	310	398	511	534	555	570	599	615	620	591	603							

Julio	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	353	348	343	317	299	284	324	384	527	540	555	574	609	616	626	594	598	576	567	566	533	444	374	341
2	336	326	306	283	284	286	310	373	488	520	532	552	582	599	605	595	575	578	588	546	467	426	369	345
3	331	310	300	279	286	289	299	388	489	517	541	562	587	637	655	630	638	570	573	555	453	431	391	358
4	352	307	292	294	303	309	316	374	485	512	531	544	566	567	569	556	554	552	554	534	462	430	362	324
5	305	297	284	281	291	291	297	354	460	479	509	530	556	554	592	587	585	568	564	532	442	410	357	317
6	324	316	305	287	280	272	258	279	313	345	358	370	378	391	412	413	410	426	437	415	396	373	339	315
7	308	294	286	282	277	268	251	269	316	340	348	358	400	402	427	424	420	427	428	426	417	405	365	343
8	310	298	291	287	292	278	302	357	453	471	499	516	536	541	525	509	494	488	490	465	415	397	318	298
9	289	273	255	249	254	264	276	365	443	471	484	492	525	553	538	493	499	506	523	496	419	392	325	305
10	302	306	288	271	274	269	287	354	457	481	521	565	577	606	617	585	567	550	550	552	513	471	388	359
11	323	324	314	295	293	310	308	382	478	533	586	595	628	618	620	569	569	577	581	552	537	503	431	403
12	386	373	371	357	361	358	368	437	537	552	580	586	586	586	579	548	531	492	495	501	461	437	394	381
13	365	361	348	326	314	296	291	314	351	352	372	390	395	401	422	422	421	426	436	432	397	392	375	355
14	346	319	306	300	296	300	290	305	332	348	351	352	379	397	414	397	410	420	436	430	409	389	356	353
15	347	331	313	301	293	292	337	408	493	508	543	553	579	600	632	595	569	543	554	532	508	493	406	375
16	358	350	341	326	307	304	327	426	526	559	564	598	628	641	633	595	579	583	587	579	518	475	408	381
17	356	347	343	324	311	313	338	415	557	561	573	622	621	629	641	567	573	571	562	525	435	404	351	328
18	317	300	292	283	290	291	305	388	495	512	553	576	595	620	597	585	570	567	566	556	526	491	398	362
19	343	321	307	285	277	293	322	409	519	551	584	609	620	603	564	525	540	544	546	536	506	474	440	417
20	370	358	343	341	332	332	319	338	353	402	433	433	449	463	478	453	457	453	467	464	453	444	416	426
21	398	377	353	338	341	346	339	366	406	408	422	445	457	450	461	458	468	464	480	508	505	508	460	437
22	422	412	395	399	388	373	392	465	578	604	641	661	636	616	606	577	593	557	591	621	603	489	420	416
23	405	381	365	361	355	345	360	463	567	602	655	662	653	625	615	678	668	679	678	671	610	453	404	380
24	370	365	361	362	353	361	369	459	551	600	627	650	656	638	626	664	659	648	649	645	582	509	419	392
25	372	351	361	356	357	345	371	454	565	559	612	632	638	634	642	580	610	613	624	605	558	494	380	383
26	348	344	341	341	336	334	350	431	524	553	568	570	591	616	608	568	631	599	538	500	438	414	364	332
27	321	301	287	281	287	280	270	300	322	331	349	350	359	366	382	388	396	388	387	393	377	376	368	354
28	336	327	297	289	290	297	297	319	350	335	365	383	409	400	425	418	433	430	439	422	399	392	355	344
29	323	313	291	290	290	290	322	383	506	517	548	544	579	600	589	558	576	584	569	591	465	489	422	384
30	351	328	310	305	304	288	298	394	517	518	528	557	567	601	601	586	581	581	592	562	531	374	259	247
31	323	400	358	325	307	305	308	389	523	524	583	598	595	602	622	589	589	582	564	562	538	470	411	349

Figura 33: Consumo en julio de 2019

Agosto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	331	349	350	330	337	340	360	440	542	572	627	637	629	596	598	582	574	566	558	562	555	506	448	391
2	356	353	351	350	354	337	340	410	525	506	588	615	591	602	606	548	573	570	583	555	529	530	433	404
3	360	352	343	319	303	298	289	292	335	375	410	417	442	451	471	460	459	448	465	458	459	469	416	375
4	353	357	335	314	296	296	276	309	327	364	397	395	412	421	447	452	442	448	463	462	455	459	434	387
5	372	341	331	334	321	309	346	403	513	541	577	575	582	573	572	572	649	659	667	661	580	491	393	374
6	361	351	341	322	309	299	305	417	497	500	567	585	623	612	615	713	694	690	686	644	563	477	396	368
7	365	349	337	314	317	315	333	401	516	519	530	547	584	573	569	553	576	565	556	549	490	449	383	360
8	354	330	332	321	304	303	321	391	483	505	532	561	587	587	593	552	606	649	646	636	499	472	396	367
9	366	347	339	318	309	296	320	405	498	546	574	590	605	575	572	566	686	676	663	626	561	462	407	324
10	315	367	394	355	346	338	343	357	412	413	449	442	436	391	470	489	460	472	486	486	470	455	391	375
11	365	346	324	314	287	279	277	304	331	335	358	376	394	389	441	435	442	437	463	457	419	423	363	330
12	319	306	294	300	291	282	315	368	436	451	494	534	553	530	523	541	454	658	629	579	476	464	386	362
13	341	317	294	290	286	276	293	344	472	472	524	549	539	546	558	532	572	681	623	532	498	469	374	370
14	343	319	316	301	290	295	308	372	456	487	530	570	537	539	544	549	696	649	657	591	399	577	400	369
15	340	319	304	290	280	278	286	333	359	399	405	419	429	449	455	366	388	390	472	583	559	523	446	417
16	377	309	312	365	336	329	341	425	527	535	559	537	542	560	552	516	565	564	562	554	540	516	432	409
17	388	354	347	350	327	317	304	338	357	377	419	417	467	456	465	451	479	486	486	478	460	457	458	360
18	313	312	299	371	340	317	306	341	360	368	407	429	451	463	480	399	397	394	514	595	576	527	423	394
19	384	362	328	345	328	334	372	430	521	526	564	562	534	543	646	643	640	630	614	581	509	465	401	364
20	345	355	347	323	317	311	322	397	491	503	531	533	554	528	574	542	535	532	524	506	485	494	405	372
21	351	335	319	314	303	305	313	387	468	488	538	542	540	533	570	535	521	503	502	505	492	499	429	385
22	363	365	359	360	359	371	381	458	538	560	550	553	548	575	575	523	517	512	520	514	494	528	452	432
23	395	370	350	354	363	356	370	455	523	541	580	550	548	571	569	516	509	497	504	513	481	505	435	390
24	353	354	347	336	318	302	291	319	333	365	400	417	462	453	458	475	458	460	469	463	465	478	402	355
25	383	373	361	350	330	324	307	321	351	377	399	419	439	453	459	441	450	449	459	444	416	411	403	360
26	357	350	337	331	335	344	384	462	539	562	579	576	564	545	539	509	502	509	503	469	443	415	356	339
27	334	323	304	291	282	279	289	398	446	368	364	379	585	544	535	505	487	484	512	499	460	423	249	245
28	399	359																						

Septiembre	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	355	332	313	306	306	306	303	323	346	368	405	420	436	441	441	457	452	450	460	449	459	479	394	368
2	351	346	336	340	334	330	362	435	535	557	598	579	564	585	570	524	570	706	677	620	550	463	380	350
3	344	345	333	314	316	306	328	399	534	572	608	582	571	569	578	654	683	674	654	550	482	505	425	378
4	357	355	369	346	349	318	355	418	499	522	612	578	556	549	570	577	662	625	615	598	550	487	403	352
5	385	366	355	342	348	324	342	424	510	548	584	582	551	543	557	531	698	650	607	575	495	493	406	374
6	361	362	321	327	326	309	320	399	480	504	554	593	611	631	628	548	508	514	518	510	500	493	379	358
7	343	322	302	282	276	279	263	295	319	324	380	401	417	427	443	441	438	435	459	424	330	325	313	350
8	359	191	185	200	263	256	259	273	297	318	313	339	318	314	319	398	418	406	397	385	392	371	306	305
9	291	284	278	274	275	266	295	329	420	344	441	412	396	434	436	406	402	383	406	394	415	414	330	314
10	296	296	286	278	273	270	275	337	425	433	438	435	451	518	511	474	462	474	470	444	390	364	307	283
11	268	252	257	245	254	259	275	333	404	433	431	444	438	432	457	440	438	441	434	423	362	353	285	264
12	260	248	244	245	244	253	269	337	413	452	445	437	443	442	419	387	429	443	432	382	343	349	246	222
13	293	252	250	248	252	259	269	341	415	442	447	434	437	422	420	399	400	394	409	408	352	337	278	260
14	260	253	256	254	252	254	247	290	314	294	307	315	309	300	320	325	325	330	347	346	339	348	304	284
15	267	254	253	254	253	250	249	288	304	306	350	342	341	335	372	366	355	352	356	368	358	370	354	332
16	292	278	280	274	270	261	287	349	455	450	473	568	558	543	545	530	523	527	518	477	422	407	312	303
17	295	278	267	261	265	268	287	377	451	467	499	536	545	562	566	523	499	508	506	467	422	399	308	294
18	287	275	267	263	278	269	276	373	450	483	518	533	535	545	538	511	512	514	502	472	428	410	318	295
19	269	257	254	254	256	258	268	358	443	461	471	500	533	521	527	494	499	514	511	473	435	414	328	309
20	314	278	264	264	260	261	272	361	454	467	464	473	492	492	483	444	465	439	442	418	384	372	311	297
21	295	284	276	265	272	263	255	315	321	307	324	328	351	343	366	338	348	329	340	326	329	325	285	269
22	270	250	250	256	251	252	251	294	310	304	326	341	339	338	316	326	315	315	318	309	311	313	262	252
23	260	251	242	247	245	243	281	343	450	473	463	476	407	503	512	470	469	452	447	437	380	373	300	268
24	261	254	251	249	259	253	276	303	372	404	419	485	488	551	520	486	483	487	500	453	396	369	316	302
25	293	266	259	256	260	261	275	346	441	455	469	477	488	510	507	469	468	473	471	439	397	364	304	285
26	265	250	248	241	246	247	260	331	416	429	439	452	458	475	478	460	457	463	462	454	390	373	287	260
27	254	244	241	241	246	244	254	333	412	420	429	456	468	463	482	461	459	481	472	437	395	347	276	264
28	248	249	243	238	233	239	232	262	292	289	302	308	325	338	360	366	377	367	370	378	361	329	266	252
29	250	246	241	236	236	239	232	265	292	280	292	301	318	326	364	365	370	372	385	376	365	346	278	260
30	252	243	243	246	242	249	267	323	416	436	458	461	462	484	493	482	497	481	459	426	396	378	282	270

Figura 35: Consumo en septiembre de 2019

Octubre	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	262	251	247	245	244	245	254	328	420	446	468	460	495	479	526	466	473	467	456	428	391	365	296	264
2	250	252	243	236	241	245	253	331	425	437	466	463	451	458	468	457	424	421	472	431	390	364	295	274
3	253	253	249	249	248	248	258	326	423	437	450	460	467	456	475	433	433	431	422	387	380	370	304	270
4	269	251	242	238	245	244	250	344	399	416	437	434	450	441	452	426	440	433	426	402	366	354	281	258
5	249	250	242	239	238	235	232	266	274	271	279	280	297	311	325	350	351	329	327	335	337	332	287	264
6	259	254	246	243	244	245	238	265	280	276	290	292	306	310	319	330	336	350	346	325	330	307	281	273
7	257	244	245	246	245	250	269	327	400	409	426	440	457	479	484	463	459	478	492	447	352	315	264	244
8	237	222	218	217	213	211	220	280	360	480	468	468	472	487	506	482	490	479	482	470	403	334	253	230
9	232	230	216	208	212	212	226	279	372	403	534	510	504	491	566	498	490	499	494	460	435	378	249	236
10	221	208	205	213	212	206	219	284	371	385	518	462	472	487	531	495	494	493	491	462	405	329	251	233
11	222	207	212	203	207	204	219	282	332	357	356	428	568	510	521	483	373	353	342	331	320	287	230	219
12	224	216	217	211	209	209	208	238	262	255	261	256	269	265	274	263	267	377	389	384	358	326	230	222
13	226	214	216	208	209	209	203	229	266	253	266	259	263	347	405	372	369	375	360	370	353	287	233	210
14	216	205	202	201	212	206	231	284	456	524	509	495	482	503	518	452	402	310	316	317	318	287	221	208
15	210	202	197	194	205	209	220	279	382	384	383	432	473	469	443	408	402	396	385	362	289	272	219	203
16	196	203	201	202	198	201	220	270	343	437	440	403	406	417	408	372	357	338	304	301	281	272	226	221
17	215	209	204	207	203	199	236	274	384	378	385	380	368	487	439	371	363	366	363	366	324	289	240	223
18	204	195	188	188	187	183	208	256	347	344	353	361	360	358	345	300	295	309	302	290	281	267	223	210
19	215	209	209	214	217	216	216	243	258	261	267	250	251	244	250	237	238	233	241	248	312	368	238	207
20	206	197	194	192	190	191	190	225	245	232	252	258	258	233	236	229	227	216	218	223	229	231	208	204
21	206	198	200	192	194	192	219	272	371	379	383	372	369	481	505	398	397	385	378	347	311	281	221	213
22	207	196	194	190	185	188	220	274	385	385	388	375	369	362	358	312	303	292	304	300	285	272	224	213
23	205	196	195	190	187	187	214	273	370	365	374	371	374	360	355	311	300	296	293	296	296	289	217	212
24	207	202	197	200	194	193	222	274	369	369	369	366	364	356	338	290	281	268	277	289	294	280	208	199
25	203	197	184	187	191	189	223	271	361	365	367	375	365	368	364	310	301	295	292	290	290	286	230	217
26	208	203	198	192	191	193	193	222	251	246	246	244	245	244	255	246	240	226	242	247	247	244	206	203
27	209	197	192	196	193	196	194	192	199	216	237	236	234	236	247	247	255	240	234	234	248	259	240	233
28	200	398	192	196	192	196	219	260	376	395	387	407	538	482	415	331	322	324	325	331	320	301	227	

Noviembre	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	231	228	221	219	219	212	247	284	300	276	296	291	283	281	270	269	280	266	278	299	277	264	234	229
2	222	219	216	223	220	223	223	248	286	286	281	258	273	260	260	248	241	249	270	266	257	258	252	231
3	230	228	224	215	218	217	215	239	263	257	270	255	275	260	250	244	232	225	246	249	245	256	234	222
4	224	218	214	214	214	216	247	280	365	378	375	376	371	363	344	313	298	291	312	298	281	278	232	219
5	214	209	199	200	200	203	223	271	368	384	376	377	380	386	371	322	324	304	302	302	281	268	228	211
6	204	210	207	204	204	205	226	288	383	390	386	380	376	371	361	320	318	331	322	312	306	284	231	213
7	213	210	207	204	204	207	225	282	364	390	383	369	369	365	364	311	296	292	300	303	304	291	228	217
8	211	210	204	207	204	212	234	279	377	383	389	378	359	369	343	293	282	280	300	302	279	275	224	214
9	210	209	206	200	197	199	193	229	227	250	252	232	239	239	244	237	240	245	255	259	250	252	220	211
10	201	201	196	199	196	197	196	219	240	229	248	237	237	235	250	249	245	242	265	260	252	254	231	220
11	211	209	199	195	189	198	223	284	374	397	393	383	380	372	358	309	301	296	317	306	293	278	230	213
12	210	203	202	198	197	206	224	274	369	376	260	336	366	356	346	313	319	294	314	306	301	284	238	222
13	219	212	210	206	208	210	220	273	287	365	391	380	377	372	382	320	308	297	321	312	302	274	225	213
14	209	199	197	193	202	200	228	275	359	375	385	383	377	381	380	319	295	295	314	313	302	283	233	222
15	221	217	205	207	202	206	233	279	365	388	389	385	391	383	380	323	291	283	307	307	300	278	231	220
16	215	215	207	208	207	213	209	242	261	246	246	242	254	245	256	242	244	235	248	255	245	256	226	220
17	214	211	201	203	200	206	199	233	240	243	245	242	238	237	239	247	233	240	248	251	235	252	214	205
18	203	201	194	192	196	195	220	272	369	383	380	379	376	368	371	314	306	293	298	302	289	260	226	211
19	208	200	201	195	200	201	222	282	370	391	386	372	370	364	358	312	291	283	321	309	291	266	227	212
20	207	201	203	201	204	204	223	280	370	375	375	374	372	372	368	312	318	293	305	309	312	273	220	222
21	201	198	188	195	194	203	219	277	369	366	382	376	376	354	371	317	296	292	306	327	298	287	226	212
22	204	200	192	194	197	198	217	282	373	383	391	379	381	363	363	307	293	293	301	290	276	243	216	209
23	220	207	201	209	200	207	197	229	254	239	247	237	233	240	246	236	241	233	251	254	249	245	216	212
24	208	204	193	196	197	192	191	222	254	234	245	248	248	246	240	228	237	229	246	253	241	242	213	205
25	202	198	195	192	198	194	225	273	381	396	390	389	389	370	373	315	322	304	308	310	304	280	230	213
26	213	210	200	204	206	211	228	294	376	386	390	391	390	381	371	335	328	331	335	328	307	295	232	216
27	219	211	208	208	206	209	229	285	384	398	396	393	387	383	373	326	312	299	311	304	299	281	227	214
28	208	207	205	200	200	209	226	283	371	382	393	387	376	370	366	327	305	294	308	304	303	301	250	233
29	221	203	207	200	197	206	221	279	373	381	384	375	386	386	365	321	303	288	291	290	278	269	222	211
30	212	207	202	204	201	204	201	229	248	233	241	237	256	248	242	232	219	216	237	250	246	250	221	202

Figura 37: Consumo en noviembre de 2019

Diciembre	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	205	204	195	200	197	199	197	225	254	250	249	249	255	245	250	248	231	223	249	256	240	245	217	207
2	203	203	201	198	199	205	225	277	369	403	399	387	393	375	361	315	299	289	302	313	286	274	231	215
3	212	207	202	202	201	207	226	281	388	399	396	388	391	375	372	325	299	309	311	310	290	261	228	211
4	211	209	204	200	200	205	233	288	377	402	398	396	382	368	374	326	312	298	314	316	303	279	234	224
5	216	205	203	199	198	202	233	287	376	386	386	380	387	368	362	308	299	294	319	325	304	279	229	215
6	206	205	201	199	198	205	224	266	284	284	294	287	302	301	298	267	264	260	284	283	267	253	219	212
7	209	204	201	206	199	197	200	232	225	247	253	243	242	236	250	245	244	233	252	256	256	252	225	220
8	211	202	202	205	197	198	200	225	234	230	240	236	234	224	238	230	223	223	248	251	242	245	224	208
9	202	200	200	200	193	201	230	272	283	274	283	276	278	267	278	261	254	249	272	270	264	262	227	210
10	213	203	198	197	199	200	225	290	383	390	396	388	379	383	386	331	335	310	316	322	301	278	237	221
11	213	206	205	209	203	211	240	292	380	375	389	379	373	369	351	322	297	292	304	309	288	274	228	222
12	213	205	206	208	202	207	235	304	385	379	395	384	383	367	364	300	300	281	309	303	303	285	249	223
13	218	211	203	208	210	206	229	295	376	370	376	373	377	365	349	296	285	278	290	300	285	284	230	233
14	223	212	200	206	204	205	199	246	260	242	255	244	246	238	247	239	237	235	252	268	252	251	223	217
15	209	206	202	211	206	208	206	239	248	259	254	245	245	250	255	247	238	234	258	258	243	246	229	226
16	212	211	204	210	201	211	243	306	400	400	391	381	385	370	381	333	323	320	332	330	305	284	236	232
17	235	210	199	203	201	207	224	282	380	374	381	383	393	368	362	310	295	294	315	309	300	281	241	226
18	222	217	214	211	211	215	245	293	385	400	381	377	384	368	372	325	309	300	317	304	295	291	224	205
19	213	201	199	205	205	209	233	284	387	386	398	382	385	372	353	307	308	307	314	322	308	283	230	219
20	219	212	210	207	210	216	236	286	393	371	382	372	371	365	353	313	296	292	319	326	309	289	245	226
21	223	217	212	214	209	213	210	239	263	257	275	246	252	259	263	259	255	246	275	266	260	264	233	218
22	214	214	215	207	205	202	210	233	255	239	250	254	237	241	254	236	241	236	260	259	246	251	231	215
23	215	210	206	199	200	208	234	281	365	364	385	388	362	354	367	311	309	298	321	305	289	280	239	212
24	210	208	204	201	201	204	228	285	336	326	354	332	324	328	307	280	277	279	292	293	283	252	232	220
25	218	206	211	206	199	206	234	277	279	268	278	281	275	270	286	267	260	259	273	275	275	255	231	217
26	215	206	206	201	202	203	232	282	353	341	352	352	365	340	330	291	303	279	299	293	281	270	232	207
27	208	203	203	203	199	204	227	285	339	357	362	352	350	344	346	303	290	282	301	296	284	288	242	219
28	219	208	201	199	196	205	199	237	247	247	246	243	249	239	251	249	243	231	261	264	249	248	225	209
29	207	202																						

8 ANEXO II. CÁLCULO DE LA POTENCIA DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS.

```
filename='TFG1.xlsx';
xlrange='C4:E14';
xlRange2='J4:M14';
sheet=2;
min=100000;
Pmax=0;
Amax=7260;

A=xlsread(filename,sheet,xlrange);

for i=1:11
    a=1;
    c=0;    % Potencia resultante
    p=0;    % Precio final
    n=0;    % Numero de paneles
    d=0;    % Área ocupada
    while a==1
        if d<Amax && c<385
            c=c+A(i,1);
            p=p+A(i,2);
            n=n+1;
            d=d+A(i,3);
        else
            a=0;
        end
    end

    c=round(c,4);    %% Redondeo a 4 decimales

    F(i,1)=c;
    F(i,2)=p;
    F(i,3)=n;
    F(i,4)=d;
    if min>F(i,2)    %% Esto es para comprobar que
                    %% no se ha excedido la potencia
        min=F(i,2);
    end
    if Pmax<F(i,1)
        Pmax=F(i,1);
    end
end

xlswrite('Formato.xlsx',F,sheet,xlRange2)
```

9 ANEXO III. CÓDIGO PARA EL CÁLCULO DE LAS FACTURAS

A continuación, adjunto el código utilizado para el cálculo de las facturas presentadas en el trabajo.

```
%% Lectura de generación de 100 kW y consumos del centro sanitario

clear all
clc

%% Lectura de generación de 100 kW y consumos del centro sanitario

filenameGEN='Potencia PV.xlsx';
xlrange='B5:Y369';
sheet=2;
GEN=xlsread(filenameGEN,sheet,xlrange);
filenameCON='TFG1.xlsx';
xlrange2='C3:Z367';
sheet2=5;
CON=xlsread(filenameCON,sheet2,xlrange2);

%% Este dato no varía para ningún caso y son €

FP=1952.96;

%% Festivos y fin de semana

c=5;
df(1)=1;
s=2;
festivos=[6,60,91,92,228,285,305,340,342];

for i=2:365
    c=c+1;
    if(c==6)
        %% En df guardo festivos y fin de semana
        s=s+1;
        df(s)=i;
    end
    if(c==7)
        df(s)=i;
        s=s+1;
        c=0;
    end
    for j=1:9
        if(i==festivos(j))
            df(s)=i;
            s=s+1;
        end
    end
end
end

%% Cálculo de la potencia por periodos

caso=0;
```

```

inc=-0.25;
a=1;
PP=zeros(90,6);
te=[0.1395;0.1278;0.111;0.1014;0.0973;0.0871];

while a==1
    caso=caso+1;
    inc=inc+0.25;
    if inc>12.5
        a=0;
    else
        GENlocal=GEN*inc;
        RES=CON-GENlocal;
        %% La energía producida en exceso no disminuye la factura
        for i=1:365
            for j=1:24
                if RES(i,j)<0
                    RES(i,j)=0;
                end
            end
        end
    end
end
if a==1
    %% Si a=1 significa que no he llegado a la generación de 12500 kW
    P=zeros(1,6);
    %% Iniciarla a cero en cada caso para que no se acumulen
    for i=1:365
        %% Empiezo a recorrer RES
        %% Bandera que me indica que el día es un festivo
        b=1;
        for z=1:114
            %% Compruebo si es festivo
            if i==df(z)
                j=1;
                while b==1
                    if j==25
                        %% Salida del while y además indicador de que ya
                        he sumado el día entero
                        b=0;
                    else
                        %% Todos los consumos del día son P6
                        P(6)=P(6)+RES(i,j);
                        j=j+1;
                    end
                end
            end
        end
    end
    %% Si b sigue siendo 1 es que no es festivo ni fin de semana
    if b==1
        if i>= 1 && i<=31
            %% Estoy en ENERO
            for j=1:24
                if j>=1 && j<=8
                    %% Periodo 6
                    P(6)=P(6)+RES(i,j);
                elseif j==9 || j>=15 && j<=18 || j>=23 && j<=24
                    %% Periodo 2
                    P(2)=P(2)+RES(i,j);
                elseif j>=10 && j<=14 || j>=19 && j<=22
                    %% Periodo 1
                    P(1)=P(1)+RES(i,j);
                end
            end
        end
    end
end

```

```

elseif i>=32 && i<=59
    %% FEBRERO
    for j=1:24
        if j>=1 && j<=8
            %% Periodo 6
            P(6)=P(6)+RES(i,j);
        elseif j==9 || j>=15 && j<=18 || j>=23 && j<=24
            %% Periodo 2
            P(2)=P(2)+RES(i,j);
        elseif j>=10 && j<=14 || j>=19 && j<=22
            %% Periodo 1
            P(1)=P(1)+RES(i,j);
        end
    end
end
elseif i>=60 && i<=90
    %% MARZO
    for j=1:24
        if j>=1 && j<=8
            %% Periodo 6
            P(6)=P(6)+RES(i,j);
        elseif j==9 || j>=15 && j<=18 || j>=23 && j<=24
            %% Periodo 3
            P(3)=P(3)+RES(i,j);
        elseif j>=10 && j<=14 || j>=19 && j<=22
            %% Periodo 2
            P(2)=P(2)+RES(i,j);
        end
    end
end
elseif i>=91 && i<=120
    %% ABRIL
    for j=1:24
        if j>=1 && j<=8
            %% Periodo 6
            P(6)=P(6)+RES(i,j);
        elseif j==9 || j>=15 && j<=18 || j>=23 && j<=24
            %% Periodo 5
            P(5)=P(5)+RES(i,j);
        elseif j>=10 && j<=14 || j>=19 && j<=22
            %% Periodo 4
            P(4)=P(4)+RES(i,j);
        end
    end
end
elseif i>=121 && i<=151
    %% MAYO
    for j=1:24
        if j>=1 && j<=8
            %% Periodo 6
            P(6)=P(6)+RES(i,j);
        elseif j==9 || j>=15 && j<=18 || j>=23 && j<=24
            %% Periodo 5
            P(5)=P(5)+RES(i,j);
        elseif j>=10 && j<=14 || j>=19 && j<=22
            %% Periodo 4
            P(4)=P(4)+RES(i,j);
        end
    end
end
elseif i>=152 && i<=181
    %% JUNIO
    for j=1:24
        if j>=1 && j<=8
            %% Periodo 6
            P(6)=P(6)+RES(i,j);

```

```

elseif j==9 || j>=15 && j<=18 || j>=23 && j<=24
    %% Periodo 4
    P(4)=P(4)+RES(i,j);
elseif j>=10 && j<=14 || j>=19 && j<=22
    %% Periodo 3
    P(3)=P(3)+RES(i,j);
end
end
elseif i>=182 && i<=212
    %% JULIO
    for j=1:24
        if j>=1 && j<=8
            %% Periodo 6
            P(6)=P(6)+RES(i,j);
        elseif j==9 || j>=15 && j<=18 || j>=23 && j<=24
            %% Periodo 2
            P(2)=P(2)+RES(i,j);
        elseif j>=10 && j<=14 || j>=19 && j<=22
            %% Periodo 1
            P(1)=P(1)+RES(i,j);
        end
    end
end
elseif i>=213 && i<=243
    %% AGOSTO
    for j=1:24
        if j>=1 && j<=8
            %% Periodo 6
            P(6)=P(6)+RES(i,j);
        elseif j==9 || j>=15 && j<=18 || j>=23 && j<=24
            %% Periodo 4
            P(4)=P(4)+RES(i,j);
        elseif j>=10 && j<=14 || j>=19 && j<=22
            %% Periodo 3
            P(3)=P(3)+RES(i,j);
        end
    end
end
elseif i>=244 && i<=273
    %% SEPTIEMBRE
    for j=1:24
        if j>=1 && j<=8
            %% Periodo 6
            P(6)=P(6)+RES(i,j);
        elseif j==9 || j>=15 && j<=18 || j>=23 && j<=24
            %% Periodo 4
            P(4)=P(4)+RES(i,j);
        elseif j>=10 && j<=14 || j>=19 && j<=22
            %% Periodo 3
            P(3)=P(3)+RES(i,j);
        end
    end
end
elseif i>=274 && i<=304
    %% OCTUBRE
    for j=1:24
        if j>=1 && j<=8
            %% Periodo 6
            P(6)=P(6)+RES(i,j);
        elseif j==9 || j>=15 && j<=18 || j>=23 && j<=24
            %% Periodo 5
            P(5)=P(5)+RES(i,j);
        elseif j>=10 && j<=14 || j>=19 && j<=22
            %% Periodo 4
            P(4)=P(4)+RES(i,j);
        end
    end
end

```

```

end
elseif i>=305 && i<=334
%% NOVIEMBRE
for j=1:24
if j>=1 && j<=8
%% Periodo 6
P(6)=P(6)+RES(i,j);
elseif j==9 || j>=15 && j<=18 || j>=23 && j<=24
%% Periodo 3
P(3)=P(3)+RES(i,j);
elseif j>=10 && j<=14 || j>=19 && j<=22
%% Periodo 2
P(2)=P(2)+RES(i,j);
end
end
elseif i>=335 && i<=365
%% DICIEMBRE
for j=1:24
if j>=1 && j<=8
%% Periodo 6
P(6)=P(6)+RES(i,j);
elseif j==9 || j>=15 && j<=18 || j>=23 && j<=24
%% Periodo 3
P(2)=P(2)+RES(i,j);
elseif j>=10 && j<=14 || j>=19 && j<=22
%% Periodo 2
P(1)=P(1)+RES(i,j);
end
end
end
end
end
end
PP(caso,:)=P;
FE(caso)=P*te;

end
end

%% Facturación total

for k=1:caso-1
d=FE(k)+FP;
dIE=(d*1.05113*0.04864)+d;
dIVA=dIE*0.21+dIE;
FT(k)=dIVA;
end

FT=FT';

%% Facturación total como columna
%% Escritura de datos

xlsrange3='S19';
xlswrite('TFG2.xlsx',FT,2,xlsrange3);

```

10 ANEXO IV. CÁLCULO DEL VAN DE LOS PROYECTOS

A continuación, adjunto el código para calcular el VAN de cada uno de los proyectos.

```
%% Lectura de datos

filename='TFG2.xlsx';
sheet=4;
xlrange='K65:L86';
r=4/100;

A=xlsread(filename,sheet,xlrange);

%% Iteraciones para cada uno de los casos

for i=1:22
    c=0;
    for j=1:15
        %% Sumatorio para el número de años
        c=c+(A(i,2)/(1+r)^j);
    end
    VN(i)=A(i,1)+c;
end

%% Escritura de datos

VN=VN';
xlswrite('TFG2.xlsx',VN,4,'L90:L111');
```

11 ANEXO V. CÁLCULO DEL PAYBACK DE LOS PROYECTOS

```
clear all
clc

filename='TFG2.xlsx';
sheet=4;
xlrange='Z117:Z163';
A=xlsread(filename,sheet,xlrange);
[sz,col]=size(A);

for i=1:sz
    c=0;
    b=1;
    inc=0;

    while b==1
        inc=inc+A(i,2);
        if A(i,1)-inc < 0
            pr=c+((A(i,1)-(inc-A(i,2)))/A(i,2));
            b=0;
        else
            c=c+1;
        end
    end
    PB(i,1)=pr;
end

xlswrite('TFG2.xlsx',PB,2,'K23:K69')
```

12 COSTES ADICIONALES

Para el cálculo del coste de todo el proyecto se ha considerado que el coste de los paneles mas el inversor escogido para cada potencia es un 48,31% del coste total del proyecto, donde el 51,69% restante es relativo al coste de mano de obra, obra civil y tramites legislativos necesarios para llevar a cabo la obra.

De esta forma, todos los costes quedan en referencia de los costes del PV y del inversor como se muestra en la Tabla 24: Costes finales del proyecto.

Potencia (kWh)	PV+Inversor (€)	CO (€)
100	51.424,60	106.447,00
125	67.408,00	139.532,30
150	83.391,50	172.617,50
175	93.575,00	193.697,00
200	100.153,80	207.314,80
225	110.337,30	228.394,30
250	118.820,80	245.954,80
275	134.899,60	279.237,30
300	151.183,00	312.943,60
325	161.666,50	334.644,00
350	170.245,30	352.401,80
375	186.228,80	385.487,10
400	200.212,30	414.432,40
425	210.395,80	435.511,80
450	218.974,60	453.269,60
475	229.158,00	474.349,10
500	237.641,50	491.909,60
525	253.720,30	525.192,10
550	270.003,80	558.898,40
575	280.487,30	580.598,80
600	288.970,80	598.159,30

Tabla 24: Costes finales del proyecto

13 BIBLIOGRAFÍA

- [1] miteco, «miteco,» 29 noviembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.miteco.gob.es/es/>. [Último acceso: 02 febrero 2022].
- [2] BOE, «Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado Documento BOE-A-2019-5089,» 6 Abril 2019. [En línea]. Available: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2019-5089. [Último acceso: 12 Enero 2022].
- [3] Rosswen, «Statistics Explained,» 3 Septiembre 2018. [En línea]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Estad%C3%ADsticas_de_energ%C3%ADa_renovable&oldid=401182. [Último acceso: 11 Enero 2021].
- [4] Red Eléctrica de España, «ree.es,» - Mayo 2019. [En línea]. Available: https://www.ree.es/sites/default/files/11_PUBLICACIONES/Documentos/05_Autoconsumo_DIGITAL.pdf. [Último acceso: 11 Enero 2021].
- [5] UNEF, «Autoconsumo UNEF,» - - 2017. [En línea]. Available: <https://autoconsumo.unef.es/impacto-autoconsumo-sistema-los-demas-consumidores/>. [Último acceso: 08 Febrero 2022].
- [6] Appa, «Appa,» 24 enero 2022. [En línea]. Available: <https://www.appa.es/appa-autoconsumo/>. [Último acceso: 19 febrero 2022].
- [7] INARQUIA, «Inarquía,» - - 2022. [En línea]. Available: <https://inarquia.es/autoconsumo-fotovoltaico-espana-europa/>. [Último acceso: 08 Febrero 2022].
- [8] Omie, «Omie,» 11 Enero 2022. [En línea]. Available: <https://www.omie.es/es/market-results/interannual/daily-market/daily-prices?scope=interannual&system=1>. [Último acceso: 11 Enero 2022].
- [9] BOE, «Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado Documento BOE-A-2018-13593,» 6 Octubre 2018. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2018-13593>. [Último acceso: 12 Enero 2022].
- [10] Endesa, «Inicio Blogs Blog de endesa Luz Tipos de tarifas eléctricas: conoce todas,» 26 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://www.endesa.com/es/blog/blog-de-endesa/luz/tipos-tarifas-electricas>. [Último acceso: 11 Enero 2022].
- [1] IDAE, «IDAE_FV_pliego_condiciones_tecnicas_instalaciones_conectadas_a_red,» - Julio 2011. [En línea]. Available: https://www.idae.es/sites/default/files/documentos_5654_FV_pliego_condiciones_tecnicas_instalaciones_conectadas_a_red_C20_Julio_2011_3498eaaf.pdf. [Último acceso: 1 marzo 2022].
- [1] European Commission, «PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM,» European Commission, 15 Octubre 2019. [En línea]. Available: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP. [Último acceso: 22 Enero 2022].
- [1] A. Uceda Gómez, «Instalación fotovoltaica para autoconsumo en un centro hospitalario,» Universidad de

3] Sevilla, Sevilla, 2020.

[1 IDAE, «Inicio Tecnologías Energías renovables Autoconsumo,» - Octubre 2020 . [En línea]. Available:

4] <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/autoconsumo>. [Último acceso: 24 Noviembre 2021].

[1 Miteco, «miteco.gob,» - diciembre 2021. [En línea]. Available:

5] https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/hoja-ruta-autoconsumo/hojaderutaautoconsumo_tcm30-534411.pdf. [Último acceso: 1 marzo 2022].