



# MEMORIA 2019-2020

Máster en Energías Renovables  
y Mercado Energético

Tu Smart-Grid en Casa

¡Salte del camino marcado! Ahorrar y cuidar el  
Medio Ambiente es posible



Alfonso Márquez Fernández  
amarquezfernandez@learning.eoi.es  
669527456



Carlos Saiz Valera  
csaiz@learning.eoi.es  
601021811



Eric Bartissol  
ebartissol@learning.eoi.es  
657314706



José María Perejón Pérez  
jperejon@learning.eoi.es  
697904255



Tutor y consultor principal de Gridit  
José Manuel Ventura Escacena

**AHORRA**

**PROTEGE**



## Tu Smart-Grid en Casa

# RESUMEN EJECUTIVO

Las **Smart-Grids**, o Redes Eléctricas Inteligentes, comenzaron cuando se hizo necesario controlar la red eléctrica con electrónica de potencia. Ahora, cuando la penetración de las energías renovables en el mercado hace indispensable desarrollar soluciones para estabilizar y regular de la red. Ahora, cuando tenemos la tecnología para conectar todos los equipos y hacer que cooperen para estabilizar el sistema eléctrico. Ahora, cuando el **medio ambiente** esta pidiendo a gritos que lo socorramos.

**!Es AHORA** cuando se va a revelar el verdadero **poder de las Smart-Grid!**

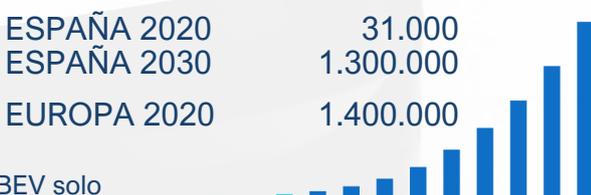
**GRIDit** propone una solución para configurar **tu propia Smart-Grid**. En lugar de buscar la solución desde fuera, donde la magnitud de la obra y la complejidad del sistema hacen inviable la instalación de estas redes inteligentes, nosotros empezamos desde dentro. Desde dentro de tu propia casa. Si tienes un **Vehículo Eléctrico** o **Batería Estacionaria**, la solución esta al alcance de tu mano.



**GRIDit** es una comercializadora que, además de suministrar energía eléctrica, informa a sus clientes de los precios del día siguiente y propone un programa de optimización de coste mediante la gestión de flujos y el control de carga de la batería. **Tecnología V2G**.

Nuestra misión: Empoderar a nuestros clientes para que sean el motor del cambio.  
 Nuestra visión: Ser un actor clave en la expansión de las smart-grids.  
 Nuestros valores: Transparencia, honestidad y colaboración con nuestros clientes.

### Tamaño del Mercado del VE\*



AHORRO

MEDIO AMBIENTE

CONFIANZA FIABILIDAD

DISPONIBILIDAD BATERÍA



**GRIDit** ha desarrollado un modelo de optimización diario el cual permite reducir la factura eléctrica de nuestros clientes. Para alcanzar esta optimización económica, es necesario conocer o estimar lo que ocurrirá el día D+1. Para ello, se ha diseñado un sistema capaz de prever el consumo de la vivienda, la generación energética de la instalación de autoconsumo, así como el coste de compra y venta de la energía de cada uno de nuestros clientes:

- Previsión de consumo, basado en las curvas de demanda horarias de REE y el consumo histórico del cliente.
- Generación fotovoltaica, basado en el modelo de predicción alimentado por el opendata de AEMET.
- Lectura de precios, publicados en la plataforma de REE-ESIOS y OMIE el día previo a la optimización.

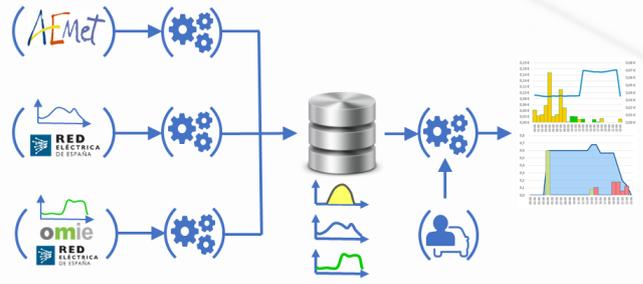
El sistema realiza a diario la recopilación de los datos antes descritos y los almacena en la BBDD ubicada en el servidor propio.

Otro input fundamental para que el modelo procese la información es la disponibilidad del VE para el día D+1. Esta información la aporta el cliente a través de la APP desarrollada.

Una vez aportados todos los inputs necesarios, el programa procesa la información y envía una notificación al cliente, a través de la app, para que esté informado de la mejor estrategia de utilización de su sistema de almacenamiento para el día siguiente.

En caso que el cargador disponga de un protocolo de comunicación normalizado, como OCCP, automáticamente se transferirá el programa para que el sistema realice la gestión de cargas y descargas de la batería, todo ello sin interferir en la utilización habitual del vehículo.

## Modelo de calculo GRIDit



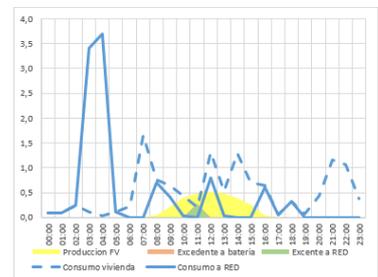
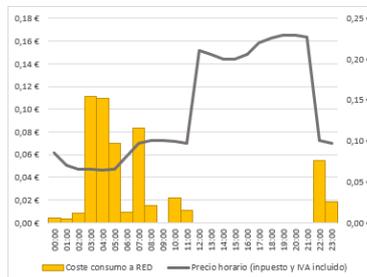
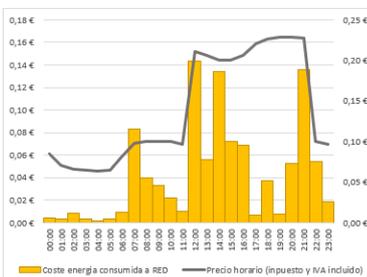
### Resultados modelo de optimización

El algoritmo de optimización devuelve un programa de carga/descarga del sistema de almacenamiento que corresponde a la configuración de consumo con menor coste según las previsiones de producción, precios y consumo y que cumple con los parámetros técnicos de la instalación y los ajustes de uso del VE definidos por el usuario.

En los gráficos inferiores, se observa como el sistema de almacenamiento se carga en las horas más baratas, así como con el excedente de la instalación de autoconsumo, para posteriormente consumir esta energía en horas punta. Con esta solución conseguimos desplazar los consumos de horas punta a horas valle, evitando casi en su totalidad los consumos a red cuando el precio de la energía es elevado.

El proceso anterior está completamente automatizado, por lo que la dedicación del cliente es nula. En caso de detectar desvíos importantes en los consumos, GRIDit contactara el cliente para desplazar, o reducir en caso que sea posible, los consumos.

### Resultado de la optimización: se traslada el consumo del periodo punta al periodo valle.



## Simulación y ajustes de parámetros

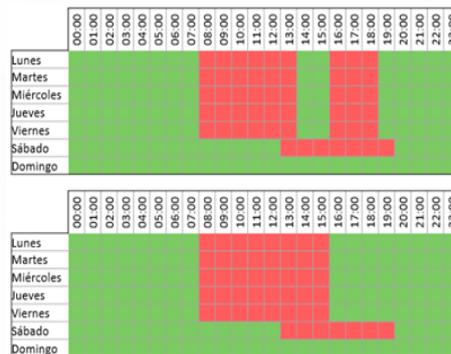
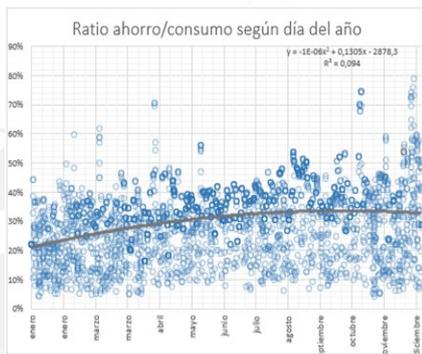
Para determinar los factores y parámetros claves que influyen sobre la eficiencia del sistema, se ha realizado una serie de 3.000 ciclos de optimización haciendo variar aleatoriamente los diferentes datos de entrada.

Tras el análisis de los resultados hemos podido definir los parámetros claves y determinar el rango dentro del cual podría influir sobre el resultado. Los rangos analizados para cada una de las variables han sido: capacidad de batería de entre 2 y 14 kWh, una producción anual de energía fotovoltaicas de entre 0 y 2.500 kWh y cuatro patrones de disponibilidad semanal del sistema de almacenamiento.

Posteriormente se ha probado el algoritmo de optimización de coste de energía sobre un periodo de un año, utilizando los parámetros anteriormente definidos. Para ello se han recuperado los datos históricos de las estaciones metrológica de la red EARM, los datos de consumo de dos viviendas y el historial de precios de energía de la plataforma ESIOS para un año entero.

Los resultados de la simulación fueron similares para las dos viviendas:

Un **24% de ahorro** sobre el termino de energía con una desviación estándar de 11%.



Del análisis de los resultados resaltan tres conclusiones:

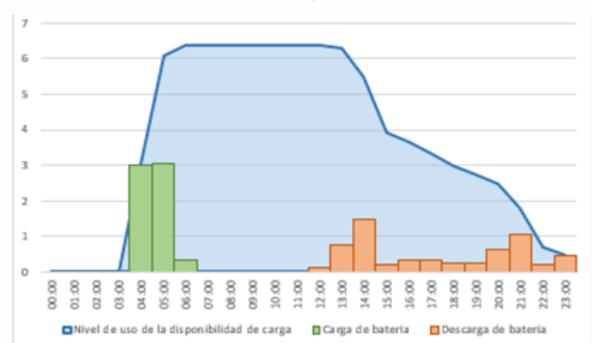
- El 65% de los casos se puede resolver con menos 8 kWh de capacidad de batería y realizar la cuasi totalidad del ahorro. El 35% restante representa un ahorro marginal.
- La disponibilidad del VE necesaria para realizar un ahorro significativo es compatible con un uso normal del vehículo a diario.
- El sistema es poco sensible a la cantidad de energía fotovoltaica, hasta 1.500 kWh de producción anual en una vivienda sin autoconsumo consigue los mismos ahorros.

## Carga y vida útil de la batería

La vida útil de la batería está asegurada por la reducida capacidad dedicada a la optimización del sistema (8 kWh), equivalente a un **DOD < 10%**.

La corrientes de carga del vehículo es de 16A, y la descarga de 10A. Ambas se consideran cargas lentas que permiten garantizar la **durabilidad de la batería** del vehículo eléctrico.

## Programa de carga capacidad en kWh y potencia en kW



## Modelo de financiación

**GRIDit** es una comercializadora, pero también puede declinarse como un servicio energético altamente escalable en el mercado nacional y europeo.

Las actividades propias de la comercialización se financiarán con un margen del 1% sobre el volumen intermediado entre la distribuidora y el cliente.

Para cubrir los gastos de la arquitectura informática que realiza los cálculos, se prevé una cuota mensual de 1,99€ o 3,99€, según el tipo de servicio, que se irá reduciendo con la economía de escala.

El servicio de asesoramiento sobre la previsión de carga se financiará principalmente con un 15% del importe ahorrado por el cliente.

## Transparencia y confianza

## Conectado con el cliente

Con el objetivo de facilitar la comunicación con el cliente, se ha desarrollado una app móvil con la que interactuar y con la que el cliente recibirá todas las notificaciones necesarias para la optimización de los costes energéticos.

Con esta aplicación, el cliente va a poder conocer los flujos energéticos actuales e históricos, así como el porcentaje de energía autoconsumida.

Otra funcionalidad innovadora es el conocimiento del estado de cada uno de los componentes energéticos instalados.



**GRIDit** propone una solución de Smart-Grid a sus clientes, para que puedan ser precursores en el nuevo modelo energético que se está desarrollando.

**GRIDit** ha desarrollado para sus clientes un modelo de optimización de coste de la energía que les permite usar un activo inmovilizado, como sus vehículos eléctricos, para reducir el importe de la factura eléctrica.

**GRIDit** está totalmente comprometido con la confianza y seguridad que les otorga sus clientes, y desea crear con ellos un nuevo modelo energético.

## Nuestro futuro:

Siempre con nuestra visión en mente, queremos ser actores de la expansión de las smart-grid, y por ello se nos abre un abanico de posibilidades para el futuro, como por ejemplo, expandir nuestro segmento de cliente a las **flotas de VE**. Además, con la futura legislación sobre la participación del almacenamiento en los servicios de regulación podremos proponer a **nuestros clientes aún más ahorro**, y con la entrada en vigor de la discriminación horaria de tres periodos seremos más de nunca **imprescindibles**.

**!Tu también puedes acompañarnos en la aventura Smart-Grid!**



[amarquefernandez@learning.eoi.es](mailto:amarquefernandez@learning.eoi.es)

[cсаiz@learning.eoi.es](mailto:cсаiz@learning.eoi.es)

[ebartissol@learning.eoi.es](mailto:ebartissol@learning.eoi.es)

[jperejon@learning.eoi.es](mailto:jperejon@learning.eoi.es)



**GRIDit**

*“El equipo GRIDit al completo, queremos mostrar nuestro más sincero agradecimiento a todos los que hicieron posible este Máster en Energía Renovable y Mercado Eléctrico, gracias a Yolanda, Eva y Rosa, gracias a Paco y al conjunto del profesorado por haber compartido con nosotros vuestros conocimientos y experiencias.*

*Y al final, pero no por eso menos importante a Jose Manuel por habernos animado y aconsejado sobre la marcha del proyecto.*

*A todos vosotros, gracias por vuestro trabajo a pesar de las circunstancias excepcionales, gracias.”*



# Índice

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Análisis del Entorno .....</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1      | PEST.....  | 1         |
| 1.2      | Las Cinco Fuerzas de Porter .....  | 3         |
| 1.3      | Análisis actual del Sector Energético .....  | 4         |
| 1.4      | Tamaño y Evolución del Mercado.....  | 5         |
| <b>2</b> | <b>Análisis Interno.....</b>   | <b>7</b>  |
| 2.1      | Mercado Objetivo .....   | 7         |
| <b>3</b> | <b>Análisis DAFO .....</b>   | <b>8</b>  |
| <b>4</b> | <b>Presentación de GRIDit .....</b>  | <b>10</b> |
| 4.1      | Misión, Visión y Valores .....   | 10        |
| 4.2      | Plan de Operaciones .....  | 10        |
| <b>5</b> | <b>Legislación.....</b>  | <b>12</b> |
| 5.1      | Real Decreto 244/2019, de 5 de abril.....  | 12        |
| 5.2      | Circular 3/2020, de 15 de enero, de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia .....                      | 12        |
| 5.3      | Noticia: “La demanda y el almacenamiento comenzarán a participar en los servicios de ajuste a partir de junio” ..... | 14        |
| <b>6</b> | <b>Definición técnica .....</b>  | <b>15</b> |
| 6.1      | Sistema Eléctrico.....   | 15        |
| 6.2      | Vehículos Eléctricos .....   | 18        |
| 6.3      | Instalación Fotovoltaica .....   | 22        |
| 6.4      | Flujos de Energía Eléctrica del sistema .....  | 25        |
| <b>7</b> | <b>Modelo de Optimización.....</b>   | <b>29</b> |
| 7.1      | Objetivos de la optimización.....  | 29        |
| 7.2      | <i>Arquitectura del modelo</i> .....   | 30        |
| 7.3      | Predicción del recurso solar.....  | 31        |
| 7.4      | Predicción de la demanda energética .....  | 37        |
| 7.5      | Precio de compra de energía eléctrica .....  | 39        |
| 7.6      | Precio de venta de excedentes .....  | 41        |
| 7.7      | Disponibilidad del Vehículo Eléctrico .....  | 44        |



|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 7.8      | Interfaz del Usuario.....                              | 46        |
| 7.9      | Algoritmo de Optimización .....                        | 49        |
| <b>8</b> | <b>Programa de simulación .....</b>                    | <b>65</b> |
| 8.1      | Datos de entrada a la simulación.....                  | 65        |
| 8.2      | configuración de los parámetros de la simulación ..... | 68        |
| 8.3      | Profundidad de carga de la batería .....               | 72        |
| 8.4      | Conclusiones de resultados .....                       | 73        |
| <b>9</b> | <b>Financiación .....</b>                              | <b>75</b> |



## 1 Análisis del Entorno

La capacidad de adaptarse al entorno y a los cambios que este va sufriendo a lo largo del tiempo, se presenta como algo fundamental para el éxito de una empresa. Por lo que, un adecuado análisis del entorno y una correcta gestión del mismo se presentan como fundamentales.

Los objetivos del análisis son:

- Identificar factores que puedan afectar a la viabilidad del proyecto.
- Determinar un mercado objetivo.

### 1.1 PEST

Se trata de una herramienta a través de la cual podemos investigar los factores (Políticos, Económicos, Sociales y Tecnológicos) que pueden afectar a la empresa, con el fin de diseñar una estrategia adecuada.

Se estudian los factores que engloba el entorno donde se desarrolla la organización, es decir, los factores que inciden de forma directa sobre la empresa. El análisis PEST de GRIDit, se muestra a continuación:

| <u>Política</u>   | <u>Economía</u>   | <u>Sociedad</u>  | <u>Tecnología</u>  |
|---|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ley 24/2013 del Sector Eléctrico</li> <li>- RD 244/2019</li> <li>- Circular 3/2020</li> <li>- Plan integrado de Energía y Clima (PNIEC)</li> <li>- Inestabilidad política (Crisis Covid-19, afloramientos de nuevos partidos, independentismo en Cataluña...)</li> <li>- Códigos de derecho de publicidad (BOE)</li> <li>- Protección de datos (AEPD)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- PIB en 2018 fue de 2,5% y en 2019 se incrementa un 1,8%</li> <li>- Desaceleración económica en el país</li> <li>- Incremento de la tasa de desempleo juvenil</li> <li>- Incremento en el precio de la electricidad</li> <li>- Préstamos ENISA para nuevas startup</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Auge del autoconsumo</li> <li>- Concienciación medioambiental ante el cambio climático</li> <li>- Desigualdad en la distribución de la riqueza</li> <li>- Alta cualificación en los trabajadores, tasa del 54%</li> <li>- Auge del Vehículo eléctrico</li> <li>- Desconocimiento del mercado eléctrico</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Descenso en el precio de los sistemas de almacenamiento energético</li> <li>- Aumento en el desarrollo de las tecnologías para el vehículo eléctrico (cargadores bidireccionales, baterías...)</li> <li>- Nuestra nación se posiciona como la sexta potencia tecnológica en Europa</li> </ul> |

|  |  |  |   |
|--|--|--|---|
|  |  |  | - Tecnología FV particular desarrollada |
|--|--|--|---|

Tabla 1. PEST

### **Político y legales**

El apogeo de nuevos partidos políticos, está provocando en España una división tanto política como social. El origen de éstos da lugar a un pacto entre diferentes líneas de pensamiento para instaurar un gobierno estable.

El gobierno pretende invertir en investigación en torno a un 6% más que el año anterior, por lo que, es un entorno ideal para el progreso de nuevas empresas del ámbito tecnológico como GRIDit.

La política energética en nuestro país, está dispuesta a jugar un papel importante basado en un nuevo modelo que aumente la presencia de energías renovables, lo que supone una oportunidad para la creación de nuevas empresas energéticas, autoconsumo, variedad en las tarifas, eficiencia...

De igual manera, España posee un marco legal que hay que cumplir como son; la protección de datos (AEPD), la Ley 24/2013 del Sector Eléctrico, códigos de derechos de publicidad, así como, los impuestos provenientes de actividades económicas. Además, con la aprobación del RD 244/2019, se simplifican los trámites administrativos y reduce costes en las instalaciones de autoconsumo.

### **Económicos**

La crisis sanitaria provocada por el COVID-19 junto con otros factores históricos se traduce en una desaceleración económica en el país, desarrollando un entorno poco favorable para la consecución de nuevas empresas y provocando graves problemas a las ya existentes. Sin embargo, empresas tecnológicas y aporten ahorro al cliente final, tienen una buena oportunidad de mercado en el contexto de crisis actual.

El incremento en el precio de la electricidad (un 5,2% a principios de 2020), produce un aumento considerable para el cliente final en su factura. Este hecho desfavorable para la población crea una oportunidad de negocio para empresas como GRIDit, que favorece el ahorro de forma fiable en la factura eléctrica.

En el marco laboral, el aumento del salario mínimo interprofesional puede resultar desfavorable para el sector empresarial, el empleo a largo plazo se vería afectado ya que las empresas deberán asumir costes más altos. Por otro lado, préstamos como los que ofrece ENISA suponen un apoyo al talento, con la aparición de nuevas ideas para transformar en negocios innovadores e incentivar la marca nacional.

## Sociales y culturales

En la actualidad, España cuenta con 47 millones de habitantes, aunque se prevé un estancamiento en los próximos años. La distribución de la riqueza es cada vez más desigual, aumenta el número de multimillonarios, y, por otro lado, crecen los hogares sin ingresos o ingresos mínimos.

Respecto al sector energético, la sociedad profesa una opinión negativa debido al incremento en el precio de la electricidad. La demanda media por parte del consumidor está en 3900 kWh, con una potencia contratada de 4,4 kW según el Ministerio de Energía. Todo ello, en un contexto de desconocimiento por parte del cliente final, que se ve influenciado por las comercializadoras existentes, las cuales incitan a contratar un producto, desconociendo lo que estas ofrecen.

Por otro lado, el auge del vehículo eléctrico en nuestro país se está viendo frenado por la necesidad de nuevos puntos de recarga, sobre todo fuera de las grandes ciudades. Según datos de Anfac (Asociación española de fabricantes de coches), España se sitúa en última posición en cuanto a desarrollo de infraestructuras de recarga.

## Tecnológicos

España se sitúa como la sexta potencia tecnológica de los países europeos, aunque ha caído su financiación y ha decrecido los talentos. En 2019 la financiación total para startups españolas fue de 1.200 millones de euros aproximadamente.

Por otro lado, según un estudio realizado por Bloomberg NEF, las baterías cuestan actualmente alrededor de 140€/kWh. Esto le permite acercarse a los 90€/kWh que permitiría igualar el precio de venta de un vehículo eléctrico con su homónimo de combustión.

Además, la oferta de vehículos eléctricos aumentará exponencialmente en 2020. Los fabricantes de automóviles tienen previsto lanzar al mercado al menos un modelo durante este año. “El futuro a largo plazo es brillante” analista de Bloomberg NEF.

Por último, hacer referencia a la tecnología fotovoltaica para instalaciones domésticas, la cual se encuentra en período de madurez con unos precios de instalación reducidos, obteniendo unos plazos de inversión muy bajos.

### 1.2 Las Cinco Fuerzas de Porter

Mediante el método de las 5 fuerzas de Porter se intenta analizar la situación en la que se encuentra GRIDit con su entorno más inmediato.

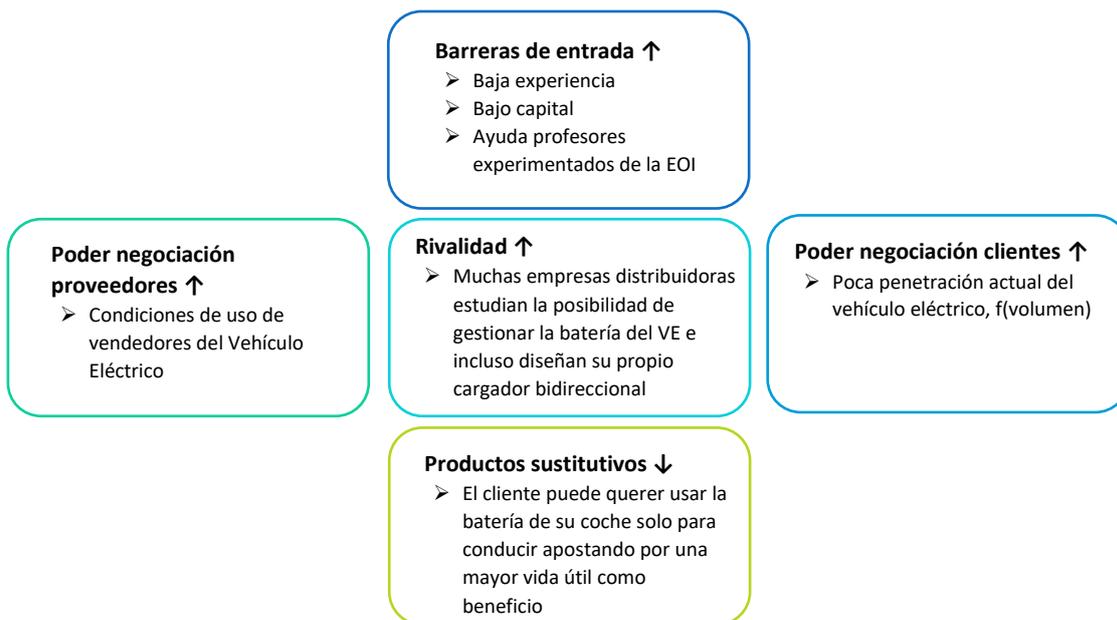


Figura 1. Cinco Fuerzas de Porter

En la Figura 1 se pueden ver las 5 fuerzas de Porter analizadas, con un alto poder de negociación de los proveedores, altas barreras de entrada, alto poder de negociación de los clientes, no hay una gran fuerza de producto sustitutivo, pero sobre todo hay sin duda una gran rivalidad, en buena medida por parte de las grandes eléctricas.

### 1.3 Análisis actual del Sector Energético

Se lleva hablando varios años sobre la transición energética, la revolución en el sector eléctrico, la digitalización, etc., si bien, difícilmente se pronosticaba una situación como la que estamos viviendo debido a la rapidísima transición a las renovables y sistemas de almacenamiento, reduciendo drásticamente la fabricación de componentes de instalaciones de generación convencionales.

Según los analistas, la rapidez con la que se han introducido las renovables se debe principalmente el abaratamiento de sus costes de inversión y su incremento en la eficiencia, además del mayor compromiso por parte de la sociedad con el medio ambiente.

Otro tema muy interesante son los progresos muy prometedores que estamos viendo en el almacenamiento de energía. Y aquí entra Tesla, que está construyendo grandes parques de baterías de almacenamiento de energía, denominadas 'Tesla Big Batteries'. El primer ejemplo se puso en marcha en diciembre de 2017 en una zona de Australia con blackouts de energía eléctrica relativamente frecuentes. Tesla ha instalado 100 MW de baterías de ión-litio cerca de un parque eólico y además en un tiempo récord de menos de 100 días.

Realmente una combinación parque eólico/planta solar + baterías de almacenamiento es un mix imbatible. Tesla ya está hablando de baterías de incluso 1 GW, algo impensable hace muy poco. Esto sí que puede cambiar mucho el panorama eléctrico unido a la enorme reducción de los

precios de los paneles fotovoltaicos, con lo que las energías renovables ya pueden competir con las tradicionales.

Otro tema de especial importancia es la digitalización del sector eléctrico, desde los contadores inteligentes hasta la smart grid, pasando por el vehículo eléctrico y la simulación y operación de la red. Todo está cambiando debido a las nuevas regulaciones y a que el consumidor demanda otro modelo de servicios. Es aquí donde participa GRIDit, con su modelo de gestión y optimización, el cual permite conocer la simulación y flujos a tiempo real en la red doméstica.

La tendencia de las nuevas regulaciones nacionales va hacia la electrificación, por lo que el consumo eléctrico va a aumentar considerablemente. Además, esta electrificación va a conllevar el incremento del autoconsumo con renovables como modelo energético. Todo ello en la senda para alcanzar la neutralidad climática en 2050 y cumplir con el acuerdo de París, según establece el Plan Nacional integrado de Energía y Clima (PNIEC).

El PNIEC persigue una reducción de un 23% de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) respecto a 1990. Este objetivo de reducción implica eliminar una de cada tres toneladas de gases de efecto invernadero que se emiten actualmente. Se trata de un esfuerzo coherente con un incremento de la ambición a nivel europeo para 2030, así como con el Acuerdo de París.

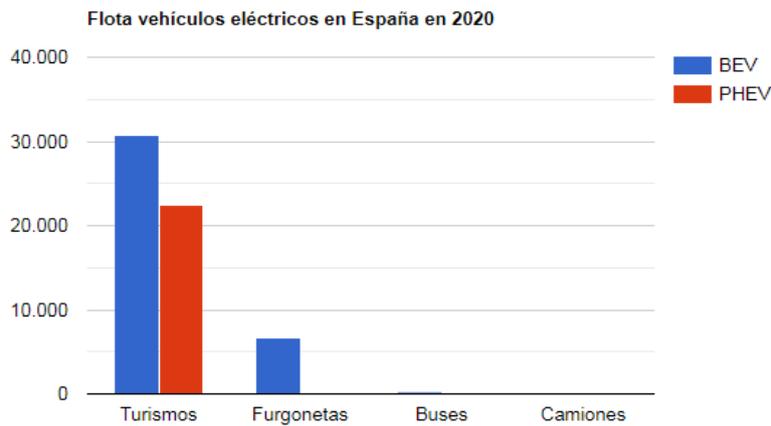
De igual modo, propone instrumentos para garantizar a los consumidores el derecho a consumir, producir, almacenar y vender su propia energía renovable mediante la generación distribuida, la gestión de la demanda, el fomento de las comunidades energéticas locales, así como medidas específicas destinadas a promover el papel proactivo de la ciudadanía en la descarbonización. Al respecto, el PNIEC hace hincapié en el potencial de la rehabilitación energética de edificios y del autoconsumo, especialmente el compartido.

Como conclusión, España tiene un plan de energía y clima muy ambicioso, con el que va a favorecer a las energías renovables y al almacenamiento, además de la digitalización de todo el sistema.

#### 1.4 Tamaño y Evolución del Mercado

En la actualidad, el volumen de mercado nacional es de 30.811 vehículos eléctricos puros, no se contabiliza los vehículos híbridos enchufables o de hidrógeno. Por lo tanto, se presenta como un mercado en plena expansión y según las previsiones del Observatorio del Vehículo Eléctrico en la próxima década habría una escalabilidad importante llegando a 1.300.000 vehículos eléctricos de batería tipo turismo en 2030.

El PNIEC se muestra menos conservador en sus números y da cifras de 5 millones de vehículos eléctricos, turismo, furgoneta y motocicletas, aunque no define si son vehículos eléctricos puros o híbridos enchufables, o, por consiguiente, la suma de ambos.



(Fuente: EAFO)

Figura 2. Flota de VE en España en 2020

En el resto de Europa se presentan unos números más asentados, aunque concentrados en los países nórdicos principalmente (Polonia, Finlandia, Alemania, Reino unido...) Actualmente, Europa cuenta con 1,4 millones de vehículos eléctricos. (Fuente: EAFO)

Como ejemplo, en 2018 en el país se registraron casi 15.500 matriculaciones de vehículos eléctricos y más de 5.600 de híbridos enchufables, mientras que el número de puntos de recarga era de 5.209, claramente insuficiente. La escasez de puntos de carga es el principal freno a la hora de comprar vehículos eléctricos en nuestro país. Esta escasez no solo está relacionada estrechamente con el problema de la autonomía de las baterías, sino que no cubre la demanda generada por el incremento en las ventas de estos vehículos.

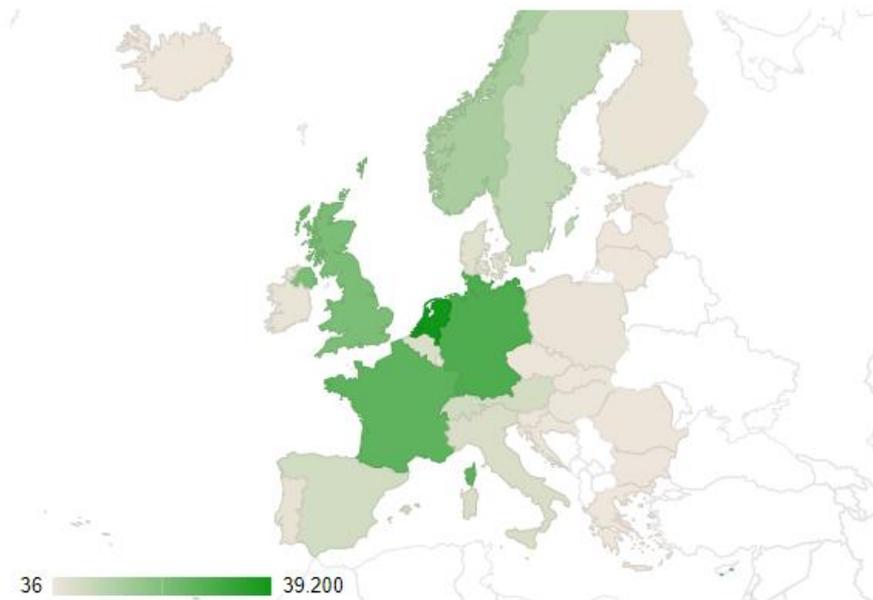


Figura 3. Infraestructura de recarga pública en Europa. Año 2019. Fuente Observatorio del VE

## 2 Análisis Interno

### 2.1 Mercado Objetivo

GRIDit se dirige principalmente a dos mercados objetivos:

- Particulares: Actualmente el número de consumidores domésticos con V.E en España se sitúa alrededor de 31.000 según datos del Observatorio del V.E, a los que habría que añadir aquellos usuarios que poseen batería estacionaria, para los cuales no tenemos datos objetivos. Asimismo, el Observatorio del V.E ofrece una previsión para la próxima década bastante esperanzadora situándose en 1.300.000 VE en 2030. El PNIEC (Plan Nacional Integrado de Energía y Clima) ofrece datos más esperanzadores si cabe, ofrece una previsión de 5.000.000 de V.E.
- Pymes: Debido al auge de la movilidad eléctrica, están surgiendo numerosas empresas que apuestan por este tipo de movilidad en ciudades del territorio nacional, lo que supone un nicho de mercado bastante atractivo para nuestro modelo. De igual modo empresas con flotas importantes de vehículos para su desarrollo empresarial apuestan por vehículos eléctricos, esto supone también una oportunidad para GRIDit. Entre este mercado se encuentran aquellas cuyo horario se limita a la jornada laboral de 8 horas y el resto del día se encuentran estacionados en sus correspondientes puntos de recarga esperando a comenzar la jornada laboral. Durante ese estacionamiento es posible aprovechar el modelo de optimización de GRIDit para obtener un ahorro considerable en la factura eléctrica. Entre estas empresas se encuentra Lipasam, Emasesa, Motosharing...

### 3 Análisis DAFO

| <u>DEBILIDADES</u>   | <u>AMENAZAS</u>  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Experiencia baja en el sector</li> <li>- Bajo poder de negociación</li> <li>- Alta dependencia de V.E o batería estacionaria</li> <li>- Tecnología emergente, poco probada.</li> </ul> <p><b>CORREGIR: Posicionarnos a través de imagen de marca.</b></p>                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Competencia en el sector</li> <li>- Desarrollo de las empresas existentes en el sector</li> <li>- Estancamiento en el volumen de mercado de V.E por la crisis sanitaria actual</li> </ul> <p><b>AFRONTAR: Diferenciar la estrategia.</b></p>  |
| <u>FORTALEZAS</u>  | <u>OPORTUNIDADES</u>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Solución individual, eficiente y adaptada</li> <li>- Beneficio para el medio ambiente</li> <li>- Servicios adicionales para Plan Perso+</li> <li>- Contactos en las distintas áreas que desarrollamos</li> <li>- Formación continua del equipo</li> </ul> <p><b>MANTENER: Contactos</b></p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Escalabilidad simple que permitirá aprovechar el futuro abaratamiento y las mejoras de los equipos</li> <li>- Posibilidad de diversificar en las líneas de negocio (comercializadora o asesoría energética)</li> <li>- Solucionar aumento de la factura eléctrica</li> </ul> <p><b>EXPLOTAR: Crecimiento de la demanda social y concienciación por el ahorro.</b></p> |

Tabla 2. DAFO

#### Debilidades

GRIDit se presenta en el sector energético con un nuevo modelo de negocio, basado en el ahorro introduciendo el Vehículo Eléctrico en la gestión de consumo. La baja experiencia provoca un poder bajo de negociación.

Por otro lado, al incluir al Vehículo Eléctrico o batería estacionaria en la ecuación de ahorro, se produce una alta dependencia de estos equipos, que se traduce en una reducción del volumen potencial de clientes.

Actualmente las baterías están progresando a unos precios competitivos, aunque queda camino por recorrer. Esto hace que la tecnología utilizada no esté madura y por lo tanto el volumen de estos equipos puestos en el mercado no son significativos con respecto a otras tecnologías. Al igual ocurre con un elemento esencial para nuestro negocio, como son los cargadores de V.E bidireccionales.

### **Amenazas**

La idea de GRIDit surge como una necesidad del cliente para obtener un ahorro debido al incremento en la factura eléctrica.

El sector energético está en auge con la aparición de nuevas comercializadoras como Holaluz o Buld con ideas innovadoras y ahorros importantes lo que provoca un alto nivel de competencia en el sector, al igual que las comercializadoras más tradicionales, las cuales están invirtiendo parte de su capital en ofrecer al cliente estrategias nuevas.

La gran amenaza estaría en una alianza empresarial entre ellas sin contar con el cliente directamente, o que sencillamente copien nuestro modelo y con su músculo financiero nos aparten.

### **Fortalezas**

Actualmente, en el terreno nacional sólo existe una plataforma que ofrece servicios similares a los nuestros de una forma sencilla, transparente y locuaz.

El equipo GRIDit posee una formación muy variada, con profesionales altamente cualificados y ganas de hacer las cosas bien. GRIDit ofrece servicios adicionales para su plan personalizado, con un seguimiento diario personalizado y novedoso.

Por último, a través de la consecución de este proyecto, el equipo GRIDit se ha hecho con una cartera de contactos muy relevantes tanto en empresas del sector energético como en organismo de regulación del mismo.

### **Oportunidades**

Como hemos comentado con anterioridad, no existe una competencia alta con otras empresas que ofrezcan un servicio similar al nuestro, lo que nos proporciona una oportunidad para posicionarnos en el mercado.

Nuestro modelo nos permite poder redireccionar la empresa de comercializadora a asesoría energética, lo que abre nuestro abanico de posibilidades para escalar nacional e internacionalmente.

Por último, atajar el problema de la subida de precios en el sector eléctrico hace atractiva la idea para numerosos usuarios de Vehículo Eléctrico.

## 4 Presentación de GRIDit

### 4.1 Misión, Visión y Valores

#### **Misión:**

Gestionar el consumo eléctrico de la vivienda a través de las soluciones que aportamos para generar un ahorro al cliente en su factura.

#### **Visión:**

Ser una empresa de referencia ofreciendo el ahorro y la eficiencia energética a las personas, mejorando las condiciones de vida y el creciente interés por el respeto medioambiental.

#### **Valores:**

1. Ser la empresa de referencia, con un alto nivel de aceptación y reconocimiento en continuo crecimiento.
2. Ofrecer una plataforma reconocible, intuitiva y ágil con el objetivo de garantizar una experiencia exitosa para el cliente y un ahorro significativo.
3. Implantar un modelo de calidad que consiga maximizar las contrataciones y las tasas de éxitos.
4. Honestidad con la competencia, los proveedores y clientes.
5. Transparencia a la hora de presentar las cuentas económicas.

### 4.2 Plan de Operaciones

GRIDit surge en el contexto de la actual reestructuración energética por la irrupción de las energías renovables y los sistemas de almacenamiento. Esto supone cambios legislativos importantes y continuados, por lo que la sociedad necesita asesoría para adaptarse a estos cambios, y lo más importante, conseguir ahorros significativos.

Para ello, GRIDit proporciona energía como comercializadora, sin embargo, su principal propuesta de valor es el servicio prestado en la optimización económica de esa energía consumida, procedente tanto de la red, como de la instalación fotovoltaica y el sistema de almacenamiento. Además, al disponer de esta información a tiempo real, GRIDit presta asesoría personalizada con el objetivo de reducir o desplazar desvíos en los consumos a horas valle.

Podemos reflejar el plan de operaciones de GRIDit en el siguiente diagrama:





La propuesta de valor bien diferenciada de GRIDit, y que, a día de hoy, pocas compañías tienen implementado, es su sistema de gestión energética optimizando el coste económico. Para llevar a cabo esta gestión, se ha desarrollado un modelo de optimización, donde se introducen una serie de inputs, los cuales procesa el modelo, y finalmente gestiona de forma automática los flujos de los diferentes sistemas instalados en la vivienda. Estos sistemas, que van siendo más comunes en nuestras vidas son una instalación de autoconsumo, como puede ser una instalación fotovoltaica, y un sistema de almacenamiento, como puede ser la batería de un vehículo eléctrico o una batería estacionaria.

Estos flujos, además de las diferentes notificaciones y comunicaciones con GRIDit, se podrán observar en la interfaz desarrollada, la cuál es muy intuitiva y funcional.

Otra propuesta de valor aportada por GRIDit es su actualización continua en el sector energético, estando al día de todos los cambios, por pequeños que sean, en la regulación energética. Esta actualización es fundamental para realizar un buen asesoramiento a los clientes para evitar sobrecostes en las facturas. Este asesoramiento va a ser fundamental en los próximos meses por las nuevas normativas aprobadas, las cuales van a afectar a todos los consumidores, y será necesaria una modificación de las tarifas contratadas. A todo lo anterior, hay que sumarle el desconocimiento generalizado del mercado energético.

## 5 Legislación

La comunidad internacional ha adquirido el compromiso de alcanzar la neutralidad de emisiones entre 2050-2100, y la unión europea ha desarrollado un importante paquete de medidas con el objetivo de cambiar las formas de producir y consumir energía y alcanzar la descarbonización del modelo energético.

En esta línea, se han desarrollado en España tres normativas recientes, las cuales tienen un papel fundamental para favorecer al desarrollo de GRIDit.

### 5.1 Real Decreto 244/2019, de 5 de abril

El Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica, completa el marco regulatorio sobre el autoconsumo, impulsado por el Real Decreto-ley 15/2018 por el que se derogó el denominado impuesto al sol, y aporta certidumbre y seguridad a los usuarios. Entre otras medidas, el Real Decreto habilita la figura del autoconsumo colectivo, que fomenta esta fórmula en las comunidades de propietarios o en polígonos industriales; reduce los trámites administrativos, especialmente en el caso de los pequeños autoconsumidores, y establece un mecanismo simplificado de compensación de la energía autoproducida y no consumida.

Un autoconsumidor es un consumidor habitual de energía eléctrica que decide generar parte de la energía eléctrica que necesita para su propio consumo, y lo hace de manera local con una instalación de generación, por ejemplo, solar fotovoltaica, que está ligada a la instalación de su vivienda, local, nave industrial o comercio, entre otros.

Además, el autoconsumidor podrá instalar sistemas de acumulación para almacenar la energía producida durante las horas de generación en la que no estén consumiendo toda la energía autoproducida. Por otro lado, el cliente tiene la posibilidad de compensar los excedentes no consumidos sin necesidad de constituirse jurídicamente como productor de energía como debía de hacer con la antigua normativa.

El supuesto anterior es posible con este nuevo Real Decreto en sus diferentes modalidades de autoconsumo, y esta normativa es fundamental para que el desarrollo del presente proyecto pueda aplicarse.

### 5.2 Circular 3/2020, de 15 de enero, de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia

El calado de la Circular es enorme, no sólo afecta a todos los agentes del sector, sino a todos los consumidores de energía eléctrica del territorio español.

De forma prácticamente idéntica a lo que sucede en la actualidad, los costes de las redes de transporte y distribución se seguirán recuperando, mayoritariamente, mediante el término de potencia en lugar del término de energía consumida. De forma muy resumida, la CNMC considera que también es una forma de eficiencia arrojar señales elevadas de precio en el

término fijo de potencia, para ajustar al máximo la demanda punta instantánea, así como precios asequibles en el término variable de energía de cara a fomentar la electrificación, por ejemplo, del transporte. El importe de los peajes será tanto más económico en aquellos periodos tarifarios en los existe menos demanda.

En la Circular se establecen, además de los peajes para todos los consumidores nacionales, aquellos destinados a los autoconsumidores por la energía autoconsumida en caso de instalaciones próximas a través de red y otros aplicables a los puntos de recarga de vehículos de acceso público, como alternativa a los peajes generales, de cara a fomentar este tipo de instalaciones.

Comparando las tarifas de acceso actuales con los peajes de la Circular, se obtiene la siguiente relación:

| Tensión            | Potencia        | ACTUAL           |                   |                  | CIRCULAR                    |                             |                                 |                   |                  |
|--------------------|-----------------|------------------|-------------------|------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------------|------------------|
|                    |                 | Tarifa de Acceso | Periodos Potencia | Periodos Energía | Peaje                       | Autoconsumo a través de Red | Recarga de VE de acceso público | Periodos Potencia | Periodos Energía |
| < 1 kV             | <= 10 kW        | 2.0 A            | 1                 | 1                | 2.0TD                       | 2.0TDA                      | -                               | 2                 | 3                |
| < 1 kV             | <= 10 kW        | 2.0 DHA          | 1                 | 2                |                             |                             |                                 |                   |                  |
| < 1 kV             | <= 10 kW        | 2.0 DHS          | 1                 | 3                |                             |                             |                                 |                   |                  |
| < 1 kV             | > 10 y <= 15 kW | 2.1 A            | 1                 | 1                |                             |                             |                                 |                   |                  |
| < 1 kV             | > 10 y <= 15 kW | 2.1 DHA          | 1                 | 2                |                             |                             |                                 |                   |                  |
| < 1 kV             | > 10 y <= 15 kW | 2.1 DHS          | 1                 | 3                |                             |                             |                                 |                   |                  |
| < 1 kV             | > 15 kW         | 3.0 A            | 3                 | 3                | 3.0TD                       | 3.0TDA                      | 3.0TDVE                         | 6                 | 6                |
| >= 1 y < 30 kV     | > 450 kW        | 6.1              | 6                 | 6                | 6.1TD                       | 6.1TDA                      | 6.1TDVE                         | 6                 | 6                |
| >= 1 y < 36 kV     | <= 450 kW       | 3.1 A            | 3                 | 3                | (>= 1 y < 30 kV)<br>6.2TD   | 6.2TDA                      | -                               | 6                 | 6                |
| >=30 y < 72,5 kV   | -               | 6.2              | 6                 | 6                | (>=30 y < 72,5 kV)<br>6.3TD | 6.3TDA                      | -                               | 6                 | 6                |
| >= 72,5 y < 145 kV | -               | 6.3              | 6                 | 6                | 6.4TD                       | 6.4TDA                      | -                               | 6                 | 6                |
| >= 145 kV          | -               | 6.4              | 6                 | 6                |                             |                             |                                 |                   |                  |

Tabla 3. Tarifas de Acceso

Salvo los consumidores en Baja Tensión con una potencia contratada inferior o igual a 15 kW (el grueso de los domésticos), todos los consumidores pasarán a tener 6 periodos tanto en el término de potencia como en el de energía.

De forma general, los aspectos contemplados en esta circular favorecen al autoconsumo y a la evolución del Vehículo Eléctrico en España, implantando peajes reducidos y específicos para cada una de estas modalidades. Además, tanto para el término de energía y potencia se desglosan varios períodos, lo cual va a favorecer el almacenamiento, consumiendo en horas valle y utilizando la energía almacenada en horas punta. El modelo de optimización desarrollado por GRIDit va a ser clave para gestionar de forma eficiente estos consumos.

Otro aspecto de especial interés recogido en esta circular es el referente a la eliminación completa del peaje de acceso que se aplica a la generación de electricidad, de 0,5 €/MWh. Esto es fundamental para favorecer la venta de excedentes en el autoconsumo, con lo que una vez implantado, el ahorro anual de los clientes de GRIDit aumentará.

La Circular también establece los criterios para adaptar las potencias contratadas, debido al aumento en el número de periodos de algunos peajes frente a las actuales tarifas de acceso, sin perjuicio del derecho que tendrán los consumidores a adaptar ellos mismos sus potencias contratadas sin coste alguno. Podemos decir que, por defecto y con la nueva Circular, todos los suministros que tenían tarifas con 3 periodos en potencia o menos, pasarán a no tener el óptimo de potencia contratada, por lo que se abre una importante posibilidad de asesoría a los clientes, ajustando estos periodos contratados.

### 5.3 Noticia: “La demanda y el almacenamiento comenzarán a participar en los servicios de ajuste a partir de junio”<sup>1</sup>

En el Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos, ya hablaba de la participación del almacenamiento en los servicios de ajuste del sistema, pero no ha sido hasta este año cuando se ha dado el paso definitivo para su aplicación. Este hecho supone una mayor oferta de energética y por tanto, una mayor disponibilidad de recursos para equilibrar el sistema en tiempo real, y previsiblemente, unos precios más competitivos de dichos sistemas.

En estos servicios de ajuste van a participar todos los consumidores de energía, por lo que es otra noticia de especial importancia para GRIDit. Este hecho favorece la integración e instalación de sistemas de almacenamiento, y, por tanto, se hace más necesaria la gestión global de los diferentes sistemas independientes instalados en la vivienda. Hasta que se lleva a cabo el desarrollo de la participación independiente en el mercado eléctrico, ya que en la actualidad es necesaria una unidad de oferta superior a 100 kWh, la agregación será llevada a cabo por los comercializadores que realizarán la función de agregadores.

Esto es solo el principio, ya que el almacenamiento aporta valor en todos los mercados y la normativa europea lo permite. En España, solo falta adaptar esta normativa europea para que los usuarios con almacenamiento puedan participar en el resto de mercados. El marco regulatorio español se está adaptando para facilitar la participación ciudadana en el mercado eléctrico, aunque todavía existen barreras como el tamaño mínimo de energía ofertada en la regulación secundaria o la necesidad de formar unidades de programación independientes para cada recurso, sin la posibilidad de mezclar tecnologías.

Hay países que están más avanzados que España en este sentido. Por ejemplo, en Irlanda, Reino Unido, Francia y Bélgica, donde la agregación de la demanda, el almacenamiento y la carga inteligente de los vehículos eléctricos ya aportan flexibilidad en los servicios de balance. España avanza en línea con las directivas europeas, por lo que una vez se implanten las nuevas regulaciones energéticas, aprovechando experiencias de otros países, GRIDit va a disponer de un importante mercado donde actuar. Del mismo modo, al disponer de una directiva común en Europa, existe un gran potencial de escalabilidad de GRIDit en los países vecinos.

---

<sup>1</sup> El periódico de la Energía: [“La demanda y el almacenamiento comenzarán a participar en los servicios de ajuste a partir de junio”](#)

## 6 Definición técnica

Para desarrollar el presente programa de optimización, se ha realizado un importante análisis previo de la situación técnica actual de todos los elementos que entran en juego en el modelo.

### 6.1 Sistema Eléctrico

#### 6.1.1 Mercado energético

El mercado eléctrico español inició su andadura en el año 1998 a raíz de la liberalización del sector eléctrico.

El operador de la red es Red Eléctrica de España (REE), y es el responsable de garantizar el funcionamiento del sistema y la gestión técnica de la red, mientras que la entidad encargada de gestionar el mercado mayorista "SPOT" MIBEL es el Operador del mercado Ibérico de Energía-Polo Español (OMIE), el cual se conforma por el mercado diario, los mercados intradiarios de subastas y el mercado intradiario continuo.

El mercado diario MIBEL se encuentra acoplado con los mercados europeos. Las interconexiones eléctricas entre los mercados europeos contribuyen a la seguridad y a la continuidad del suministro eléctrico en los sistemas interconectados y a su vez permiten una mayor integración de las energías renovables.

El mercado diario ibérico es de tipo marginalista y se celebra el día antes al de la entrega de la electricidad. En el mercado diario los agentes compradores (comercializadores, consumidores finales) y vendedores (generadores, importadores) presentan sus ofertas para cada hora del próximo día a través de OMIE.

Una vez presentadas las ofertas correspondientes para cada hora del día siguiente por parte de los vendedores, éstas son agregadas y ordenadas de manera ascendente, conformándose la curva de oferta del mercado.

En la parte baja de la curva de oferta se sitúan tres tecnologías: las centrales nucleares, las centrales hidráulicas fluyentes y las energías renovables. Es por esto que las energías renovables tienen una gran influencia en el precio del mercado, pues en situaciones de alta disponibilidad, desplazan la curva de oferta haciendo que los precios bajen. En la parte superior de la curva de oferta se encuentran las centrales hidráulicas regulables y las centrales térmicas de ciclos combinados y carbón.

Por otra parte, las ofertas presentadas por los compradores para cada hora del día siguiente son ordenadas en orden descendente de su precio, conformándose la curva de demanda del mercado para cada hora. En la parte alta de la curva de demanda se encuentran las comercializadoras que suelen ofertar al máximo precio permitido de 180,30 €/MWh, asegurándose de esta manera que sus consumidores tengan cubierta la energía que consumen, aunque el precio que pagarán será el resultante de la casación del mercado, mientras que en la parte de la curva correspondiente a la pendiente se encuentran los consumidores que están dispuestos a comprar energía si su precio es menor o igual a un determinado valor.

El precio del mercado para cada hora del próximo día quedará determinado por la intersección de las curvas de oferta y demanda de electricidad del mercado en cada hora. Este precio fija las ofertas de compra y de venta que resultaron casadas, es decir, la energía que se canjeará al precio del mercado, que son las que se encuentran a la izquierda del punto de intersección de las curvas.

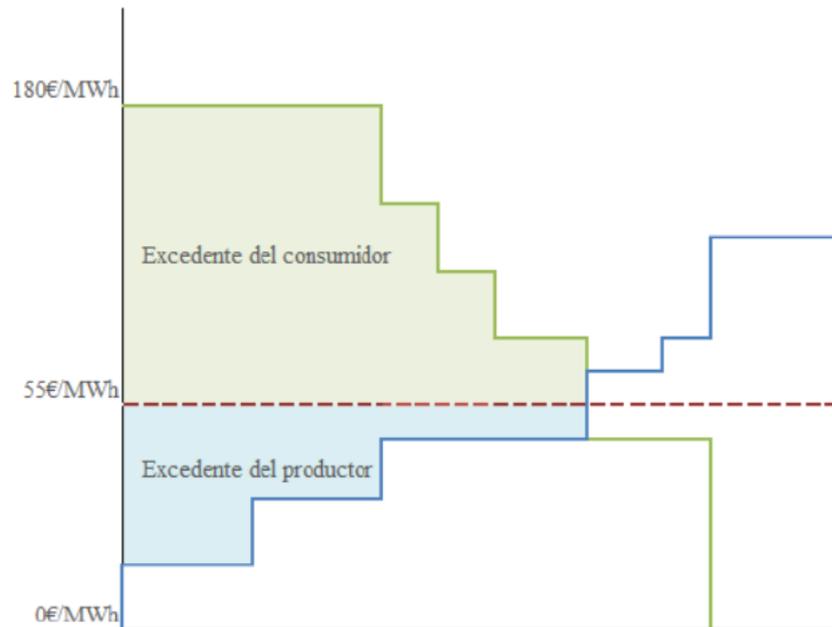


Figura 4. Curvas de Oferta y Demanda Energética

El mercado ibérico es un mercado marginalista, lo que se traduce en que todos los productores de energía van a recibir el mismo beneficio unitario de energía exportada.

La nueva participación de los sistemas de almacenamiento en los mercados de ajuste va a suponer una reorganización del mercado, sin embargo, el precio de venta para estos sistemas va a seguir siendo el precio de pool eléctrico, lo cual también se aplica a los sistemas de almacenamiento domésticos en caso que se quieran a acoger a la venta de excedentes. Esto es de especial importancia para el programa de optimización GRIDit, pues es necesario que diariamente se almacene en la BBDD propia esta información para poder ser cargada en el modelo.

### 6.1.2 Tarifas Eléctricas

Poca gente sabe responder a esta pregunta: "¿tienes la luz en el mercado libre o en el regulado?" Poca gente sabe que en España existen 2 mercados para la electricidad. La diferencia entre ambos importa: lo que cambia es el precio a pagar.

En el Mercado Regulado, el precio que pagas por tu electricidad es variable. La tarifa que se aplica es la denominada PVPC (Precio Voluntario al Pequeño Consumidor), que funciona con unos precios para el kWh establecidos por el Gobierno que varían en función de la demanda de energía que exista en cada hora del día. Esta variabilidad de precios hace imposible conocer el coste total de la factura eléctrica.

La tarifa PVPC pueden solicitarla todos los consumidores con una potencia contratada que no supere los 10 kW, pero únicamente pueden ofrecerla las llamadas Comercializadoras de Referencia, sin que puedan añadir ningún tipo de descuentos u ofertas adicionales. La tarifa PVPC es, asimismo, compatible con la tarifa de discriminación horaria y es la única que permite acceder al Bono Social para hogares con pocos recursos (y que ofrece un descuento de hasta el 25% del PVPC).

En el Mercado Libre, el precio que pagas por tu electricidad es fijo y está reflejado en el contrato que firmas con tu comercializadora. Dicho de otro modo: sabes cuánto te va a costar cada kWh que consumas.

En el Mercado Libre operan más de 200 comercializadoras, que suelen ofrecer descuentos, ofertas y servicios adicionales (mantenimiento, servicio de urgencia, seguros, etc.) sujetos o no a permanencia. Podría decirse que el Mercado Libre es más “seguro” en cuanto que el usuario sabe exactamente lo que va a pagar. Sin embargo, es un mercado que exige mucha más atención, dado que puede haber cambios en las condiciones de la tarifa de un año a otro, ofertas que sólo están vigentes de forma temporal, servicios que podrían no ser necesarios en todos los casos...

El Mercado Libre no presenta límite de potencia contratada y sus tarifas son, como las del Regulado, compatibles con la tarifa de discriminación horaria, si bien no permiten acceder al Bono Social.

En ambos mercados y para todas las comercializadoras, las tarifas de acceso son las mismas. GRIDit va a trabajar con las siguientes tarifas de acceso en baja tensión:

Tarifas 2.0: para potencias eléctricas contratadas hasta los 10 kW. Son las más habituales en consumos domésticos. Dentro de este grupo tarifario, podemos distinguir tres variantes distintas:

- Tarifa de acceso 2.0A: tarifas eléctricas sin discriminación horaria. Las tarifas con peaje de acceso de tipo 2.0A ofrecen un único precio del kWh las 24 horas del día, generalmente para periodos de 12 meses.
- Tarifa de acceso 2.0DHA: tarifas de luz con discriminación horaria en dos periodos. Se calcula que cerca de un 85% de los hogares españoles podrían ahorrar en su consumo eléctrico contratando tarifas eléctricas con discriminación horaria. Sin embargo, según datos de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, tan solo un 17% de los usuarios con peaje de acceso 2.0 contrata esta modalidad tarifaria. Aprovechando este desajuste de potencia, GRIDit tiene un campo importante de asesoramiento, con el objetivo de ajustar el consumo de sus clientes, ahorrando en la factura eléctrica.
- Tarifas de acceso 2.0DHS: tarifas eléctricas con discriminación en tres franjas para vehículos eléctricos. Este tipo de tarifas son especialmente interesantes para usuarios que cuenten con vehículo eléctrico y punto de recarga propio, ya que el precio súper reducido del kWh durante la madrugada suele coincidir con las horas a las que se suele recargar coches y motocicletas de este tipo.

El gran volumen de potenciales clientes de GRIDit pertenece a este tipo de tarifas de acceso.

Tarifas 2.1: para potencias contratadas entre 10 y 15 kW. Suele encontrarse en locales comerciales, donde el consumo es algo superior a los hogares.

Tarifas 3.0: para potencias eléctricas superiores a los 15 kW. Empleado en comercios e industrias, con discriminación horaria en tres periodos.

## 6.2 Vehículos Eléctricos

### 6.2.1 Tecnología de los Cargadores

Para el proyecto GRIDit es vital conocer los tipos de cargadores y tipos de carga para vehículos eléctricos que existen en el mercado, ya que, debido al actual desarrollo, hay un gran desconocimiento de esta tecnología.

Tipos de carga en un coche eléctrico:

- Carga ultrarrápida: Esta carga es experimental en vehículo eléctrico. Su potencia de carga es muy alta y en unos 5-10 minutos puede lograrse una recarga completa.
- Carga rápida: Ideada para estaciones de servicio que ofertan cargas eléctricas. Permite una carga del 80% de la batería entre 5-30 minutos.
- Carga semirrápida: Pensada para puntos de carga en vías públicas, semipúblicas y privadas. Proporciona una carga completa entre 1,5-3 horas.
- Carga lenta: Suele realizarse a baja potencia con enchufes domésticos. Duración de la carga en 6-8 horas.
- Carga superlenta: Se utiliza cuando la intensidad de corriente es de 10A o menos por no poseer protecciones y/o instalación eléctrica adecuada. Puede tardar entre 10-12 horas.

Tipos de conectores y modos de carga:

| Conectores       | Modos de carga   |
|------------------|--|
| Tipo 1: Yazaki   | 1- No existe comunicación con la red                               |
| Tipo 2: Mennekes | 2- Nivel de comunicación bajo                                      |
| Tipo 3: Scame    | 3- Alto grado de comunicación (más común en la actualidad)         |
| Tipo 4: CHAdeMO  | 4- Modo más alto de comunicación entre vehículo y punto de recarga |
| Combo 2 o CCS    |  |

*Tabla 4. Tipos de conectores y modos de carga*

Uno de los principales problemas de los tipos de conectores es que debido a la multitud de formatos de los fabricantes, aún no están estandarizados a nivel mundial y existen diferentes enchufes con distintos tamaños y propiedades.

Para el modelo que propone GRIDit, es necesario un conector tipo 4 o CHAdeMO de carga lenta, que es la más común para utilizar en enchufes domésticos, pues las potencias contratadas medias son de 4-5 kW. Necesitaría un nivel de comunicación mínimo Modo 3. Por último y lo más importante, el cargador debe ser bidireccional, es decir, se podrá cargar el vehículo eléctrico desde la red del hogar, pero también podrá fluir electricidad a la inversa, por lo que el vehículo eléctrico podrá abastecer de electricidad a la casa.

El cargador que se ha tomado de referencia desde el equipo GRIDit es de la empresa española WallBox, ya que ha presentado Quasar: el primer cargador bidireccional y cumple con todos los requisitos anteriormente descritos.

Además, cuenta con tecnología de reconocimiento facial y control de gestos, Bluetooth, WiFi, conector Ethernet y un módulo LTE compatible con conexión 3G-4G.

### 6.2.2 Capacidad de las Baterías en Vehículos Eléctricos

Los coches eléctricos por lo general se fabrican cada vez con más capacidad de batería, rondando los 15-20 kWh los más baratos (quitando modelos super económicos urbanos como el Twizy) hasta ya más de 100 kWh los más caros.

En la siguiente tabla se muestran algunos vehículos eléctricos de los modelos más vendidos en España y los próximos en salir al mercado según la revista km77<sup>2</sup>.

| Modelo                 | Capacidad                | Precio   | Autonomía WLTP | Año de salida | Potencia máxima |
|------------------------|--------------------------|----------|----------------|---------------|-----------------|
| BMW i3                 | 42,2 kWh / 37,9 kWh útil | 39.900€  | 285 km         | 2019          | 170 CV          |
| Nissan Leaf            | 62 kWh / - útil          | 46.120€  | 385 km         | 2019          | 218 CV          |
| Renault Zoe            | 41 kWh útil              | 30.115€  | 300 km         | 2019          | 109 CV          |
| Renault Twingo Z.E     | 21,3 kWh útil            | -        | 180 km *       | 2020          | 82 CV           |
| Hyundai ionic (Klass)  | 38,3 kWh / - útil        | 34.250€  | 311 km         | 2019          | 136 CV          |
| Hyundai Kona eléctrico | 39,2 kWh / - útil        | 35.050€  | 289 km         | 2020          | 136 CV          |
| Volkswagen e-Golf      | 35,8 kWh / - útil        | 32.990€  | 232 km         | 2017          | 136 CV          |
| Tesla model S          | 100 kWh útil             | 104.700€ | 593 km         | 2019          | 610 CV          |

\* Pendiente homologación WLTP

Tabla 5. Vehículos eléctricos más vendidos en España

<sup>2</sup> Revista de coches, novedades y pruebas de coches: <https://www.km77.com/>

### 6.2.3 Renting y Financiación

#### Renting

El renting es simplemente un alquiler de coches a largo plazo, el cliente sólo debe preocuparse de recargar su vehículo, y pagar la cuota mensual. La empresa propietaria del vehículo se encarga de todo lo demás. Este sistema permite hacerse con un vehículo eléctrico sin tener que hacer un gran desembolso inicial, incluso sin cuota de entrada.

Según la Asociación Española del Renting (AER) el mercado del renting ha aumentado un 82% a lo largo de 2019, con respecto al año anterior. A pesar de quedar todavía recorrido hasta alcanzar a los combustibles tradicionales, el alquiler de vehículos eléctricos se sitúa en quinta posición entre las diferentes tecnologías existentes, como se muestra en la siguiente tabla de según la revista Movilidad Eléctrica<sup>3</sup> para el año 2019:

|                                      | RENTING        |                | TOTAL MATRICULACIONES |                |
|--------------------------------------|----------------|----------------|-----------------------|----------------|
|                                      | Número         | % s/total      | Número                | % s/total      |
| Gasolina                             | 90.183         | 35,58%         | 660.516               | 52,37%         |
| Diésel                               | 135.354        | 53,40%         | 469.390               | 37,22%         |
| BEV - Eléctrico puro                 | 2.778          | 1,10%          | 9.955                 | 0,79%          |
| EREV - Eléctrico autonomía extendida | 0              | 0,00%          | 7                     | 0,00%          |
| PHEV - Híbrido enchufable gasolina   | 2.441          | 0,96%          | 5.663                 | 0,45%          |
| PHEV - Híbrido enchufable diésel     | 26             | 0,01%          | 112                   | 0,01%          |
| HEV - Híbrido no enchufable gasolina | 14.212         | 5,61%          | 75.737                | 6,01%          |
| HEV - Híbrido no enchufable diésel   | 2.834          | 1,12%          | 10.515                | 0,83%          |
| GLP - Gas licuado petróleo           | 4.174          | 1,65%          | 22.602                | 1,79%          |
| GNV - Gas natural vehicular          | 1.433          | 0,57%          | 6.678                 | 0,53%          |
| <b>TOTAL</b>                         | <b>253.435</b> | <b>100,00%</b> | <b>1.261.175</b>      | <b>100,00%</b> |

Tabla 6. Total de matriculaciones y renting de vehículos por tecnologías en el año 2019

Principales ventajas del renting de vehículo eléctrico:

- No existen gastos imprevistos. El pago de la cuota mensual incluye todos los gastos derivados del uso y disfrute del vehículo (mantenimiento, seguro, averías...).
- El vehículo no se adquiere en propiedad. Esto supone que los impuestos derivados de su uso y adquisición vayan a parar a la empresa que alquila dicho vehículo.
- Las coberturas se pactan antes de firmar el contrato. La empresa alquiladora ofrece diferentes coberturas, donde entra el kilometraje anual, el tiempo de alquiler, asistencia en carretera, grúa...

El coste de realizar un renting de vehículo eléctrico continúa siendo elevado, con cuotas que superan con creces las de otros vehículos convencionales, por ejemplo:

<sup>3</sup> Movilidad eléctrica: [Renting de coches eléctricos](#)

SMART FORFOUR

60KW(81CV) electric drive minicoche 60KW (82CV) 5P automático

Guardar Imprimir Suscribirse

COMPARAR



Eléctrico 5 Automático 0 L/100 82 CV 0 Co<sup>2</sup> g/km

Packs de Servicios (+ Info)

- A 306,27 € Mantenimiento Pago de Impuestos Teléfono 24h
- B + 9,35 € Sust.de neumáticos (limitada) Tarjeta de combustible Gestión de multas
- C + 67,28 € Seguro cerrado a todo riesgo

306,27 € €/mes

370,58 € €/mes con IVA

48 meses 11.2 15.000 km anuales

Aportación inicial

0 €

CONTRATAR RENTING

El **Smart ForFour** tiene una cuota de 370€/mes algo que supone un 59% por encima de la versión de gasolina más barata.

Nuestros vehículos TESLA MODEL 3 Estándar Plus RWD berlina 199KW (271CV) 4P automático

TESLA MODEL 3 Estándar Plus RWD berlina 199KW (271CV) 4P automático

Guardar Imprimir Suscribirse

COMPARAR



Packs de Servicios (+ Info)

- A 659,69 € Mantenimiento Pago de Impuestos Teléfono 24h
- B + 21,35 € Sust.de neumáticos (limitada) Tarjeta de combustible Gestión de multas
- C + 89,23 € Seguro cerrado a todo riesgo

659,69 € €/mes

798,22 € €/mes con IVA

48 meses 11.2 15.000 km anuales

El **Tesla Model 3** tiene una cuota de 798€/mes por lo que se antoja complicado para el ciudadano medio.

Alquiler de batería con Vehículo Eléctrico

Una alternativa interesante que ofrecen algunos fabricantes de vehículos eléctricos es la venta del propio vehículo y el alquiler la batería.

Se ha realizado una consulta a la compañía francesa RENAULT, que ofrece contrato de alquiler de batería. Concretamente oferta dos modalidades:

- Z.E FLEX: alquiler mensual a partir de 69€ IVA incluido, con 7500 km/año, más 10€ por cada 2500 km/año adicionales.
- Z.E RELAX: alquiler mensual de 119€ IVA incluido por un kilometraje ilimitado. No tiene ningún gasto suplementario.

La principal ventaja del alquilar es que nos aseguramos una batería en buen estado durante toda la vida útil del coche, pero también el inconveniente de estar sujetos a un contrato, kilometraje con penalizaciones...

Asimismo, se ha hecho un análisis a las condiciones generales de un contrato tipo para ver si existen cláusulas que puedan restringir el uso del vehículo eléctrico en nuestro modelo. No se han encontrado especificaciones que restrinjan este uso, más allá de las buenas prácticas en la utilización y mantenimiento de las baterías. Por lo que no supone un hándicap para nuestros potenciales clientes tener un coche eléctrico con batería alquilada.

### Financiación

Los bancos ofrecen al consumidor los llamados préstamos verdes. Éstos son créditos con condiciones especiales para financiar la compra de un vehículo eficiente.

Tras realizar un estudio a través del comparador bancario HelpMyCash, se ha analizado la oferta de distintas entidades bancarias para ver sus condiciones. El orden de mejores ofertas sería el siguiente:

| Entidad bancaria                            | Interés (TIN) | Cantidad máxima financiable | Comisión de apertura |
|---|---------------|-----------------------------|----------------------|
| Crédito sostenible de Bankia                | 4,75%         | 60.000€                     | Sin comisión         |
| Préstamo Ecoauto de Cetelem                 | 4,95%         | 60.000€                     | Sin comisión         |
| Préstamo Coche Ecológico de BBVA            | 4,95%         | 75.000€                     | 2,3%                 |
| Préstamo Coche Ecológico de Banco Santander | 5%            | 90.000€                     | 1,5%                 |
| Préstamo Coche Verde de Kutxabank           | 5%            | 75.000€                     | 1,5%                 |

*Tabla 7. Comparador bancario HelpMyCash*

Para realizar el estudio, se ha tenido en cuenta las variables de coste, las opiniones de diferentes consumidores y la trayectoria profesional de los bancos y entidades financieras.

### 6.3 Instalación Fotovoltaica

La energía fotovoltaica es la transformación directa de la radiación solar en electricidad. Esta transformación se produce en unos dispositivos denominados paneles o módulos fotovoltaicos.

La energía que producen los paneles fotovoltaicos se genera en corriente continua, y para poder emplear esta energía en nuestra vivienda, a través de un inversor, la transformamos en corriente alterna. Esta energía generada se puede consumir tanto en corriente continua como corriente alterna, dependiendo del equipo a alimentar, aunque es cierto que la gran mayoría de esta generación se consume en corriente alterna.

En resumen, se puede decir que hay 3 tipos de instalaciones fotovoltaicas:

- Instalaciones aisladas en corriente continua, sin embargo, no se suelen instalar.
- Instalaciones aisladas en corriente alterna, muy empleadas en zonas alejadas de núcleos urbanos donde no lleguen redes eléctricas, y también para instalaciones de bombeo.
- Instalaciones conectadas a red en corriente alterna, que son las más empleadas, y las que están en auge en la actualidad.

El esquema de este último caso sería el que muestra la siguiente imagen, donde observamos que es un sistema muy fácil de instalar:

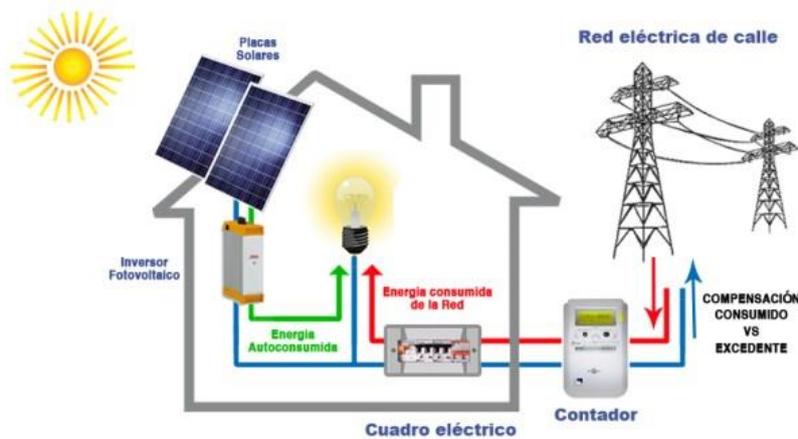


Figura 5. Esquema tipo de instalación fotovoltaica

### 6.3.1 Componentes que integran una instalación fotovoltaica

#### Paneles o módulos fotovoltaicos

En los paneles fotovoltaicos, la radiación solar excita los electrones de un dispositivo semiconductor generando una pequeña diferencia de potencial. La conexión en serie de estos dispositivos permite obtener diferencias de potencial mayores.

El módulo fotovoltaico está formado por células fotovoltaicas, que son semiconductores o diodos a efectos prácticos, que responden al denominado efecto fotoeléctrico.

Sin profundizar mucho en el diodo, es un elemento compuesto de dos partes, generalmente de silicio (puede ser otro mineral), una parte dopada N que ha ganado electrones y otra parte dopada P que ha perdido electrones.

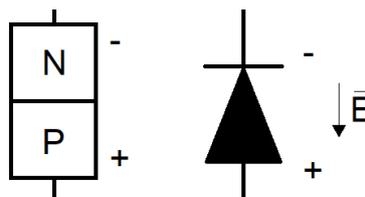


Figura 6. Diodo

Los electrones para pasar deben superar un campo eléctrico o tensión característica del diodo, a mayor cantidad de electrones mayor será la tensión que se aplica, llegando a superar la barrera en torno a los 0,7 V.

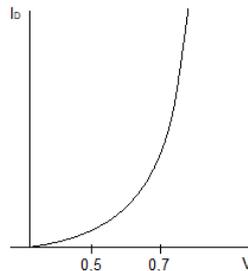


Figura 7. Gráfica típica de un diodo

Los electrones que llegan de un generador conectado o en este caso producido por el efecto fotoeléctrico son repelidos por el campo  $\vec{E}$  generalmente hasta que se supera una barrera de unos 0,7 V normalmente y la  $I_D$  se dispara.

De este modo se puede considerar al sol como un generador conectado paralelamente a un diodo y mientras la barrera de 0,7 V no se supere, la célula generará energía.

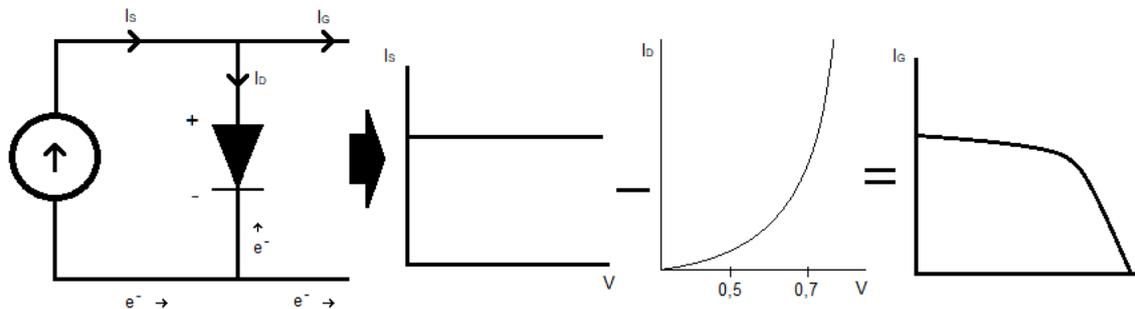


Figura 8. Modelo panel fotovoltaico

Estas células fotovoltaicas se conectan en serie para obtener un panel fotovoltaico que se puede conectar en serie o paralelo con otro panel.

### Regulador de carga

En caso que la instalación fotovoltaica esté conectada a una batería, deberá estarlo también a un regulador de carga, que no es más que un controlador mediante transistores donde en función de la tensión de la batería manda una señal que deja pasar mayor o menor corriente en función de lo cargada o descargada que esté. De esta forma, se evitan sobrecargas y sobredescargas de la batería y así no perjudicar su vida útil. Aunque normalmente la función de seguimiento del punto de máxima potencia la tiene el inversor, en el caso de tener regulador será este el que se encargue.

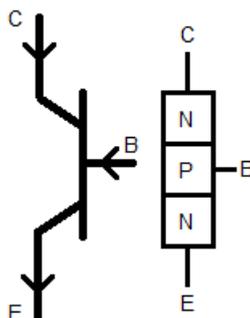


Figura 9. Esquema de Transistor

### Inversor

En cualquier caso, esta corriente continua debe pasar por un inversor (combinación de transistores, diodos y condensadores) que transforma la corriente continua en corriente alterna. Recaltar que los inversores conectados a red como son los de autoconsumo deben estar equipados con protección anti-isla para evitar accidentes en caso de corte en la red.



Figura 10. Esquema de Inversor

La parte de continua se une con algunos de los tipos de cable solar existentes y la de alterna con otro deseado, y en cualquier caso se cual sea el escogido siempre deberá cumplir con el REBT (Reglamento electrotécnico de baja tensión) o en su defecto podrán usarse criterios del fabricante siempre que sean más restrictivos.

La parte de continua suele protegerse con fusibles frente a cortocircuitos y sobrecargas. Por otro lado, la parte de corriente alterna se protege con magnetotérmico o fusibles, y un interruptor diferencial para posibles derivaciones. Todo ello en cumplimiento por supuesto del REBT.

Las masas deberán estar puestas a tierra, pero igualmente los equipos deberán contar con asilamiento clase II. Los equipos de exterior o intemperie deberán contar con grado de protección IP alto, siempre superior a lo que estipule el REBT para ese componente y situación. El primer número del IP XX hace referencia al polvo y el segundo al agua, cuanto mayor sea, mayor será la protección a dichos elementos.

## 6.4 Flujos de Energía Eléctrica del sistema

La electrificación de las viviendas, y de la vida en general, y la irrupción del autoconsumo, principalmente por la generación fotovoltaica, acompañado de los sistemas de almacenamiento, está suponiendo un cambio en el escenario energético. El cambio está abandonando la generación unidireccional implantada hasta nuestros días, y está

evolucionando hacia una generación distribuida, la cual fusiona el uso de la electricidad junto con las capacidades digitales.

La generación distribuida requiere de unos sistemas físicos basados en un nuevo hardware eléctrico, principalmente en lo relativo al almacenamiento y a la electrónica de potencia, pero sobre todo va a necesitar de una gran capacidad de procesamiento de información.

Todo ello, supone un nuevo escenario, mucho más complejo y más difícil de gestionar si no se conocen las diferentes posibilidades que ofrecen los nuevos sistemas instalados en las viviendas. Para conocer las diferentes variables que entran en juego, GRIDit a desglosado los diferentes flujos energéticos que pueden recogerse en las viviendas.

#### 6.4.1 Elementos del modelo

Dependiendo de los sistemas instalados en la vivienda y la configuración disponible, van a entrar en juego varios, o todos de los siguientes elementos:

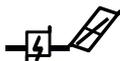
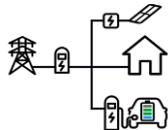
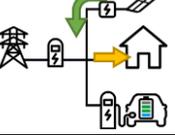
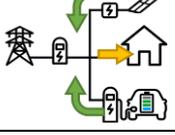
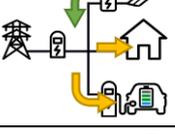
| Icono   | Descripción  |
|---|--|
|    | La <b>Red de distribución</b> permite conectar el sistema a la red eléctrica para la entrada y la salida de energía. Estos flujos energéticos de entrada y salida se contabilizan a través de un contador eléctrico bidireccional                                      |
|   | <b>Instalación Fotovoltaica</b> instalada en la vivienda, empleada para la generación eléctrica de autoconsumo. El inversor fotovoltaico dispone de contador, capaz de recoger la energía generada horaria.  |
|  | El <b>Vehículo Eléctrico</b> con la batería incorporada, a través del cargador bidireccional, va a ser capaz de almacenar energía en horas valle para consumirla en horas pico. Este sistema está dotado de control y comunicaciones para ser pilotado por el sistema. |
|  | La <b>vivienda</b> es el elemento encargado del consumo energético   |

Tabla 8. Elementos del Modelo

#### 6.4.2 Posibles flujos energéticos

Con los cuatro sistemas descritos anteriormente, el sistema es capaz de distribuir la energía de 22 modos diferentes. Es por este motivo, por lo que se requiere un detallado conocimiento de los diferentes flujos energéticos para no perder el control durante la gestión, evitando así, pérdidas en el ahorro económico. Los diferentes flujos posibles son los siguientes:

| Flujo   | Descripción    |
|---|----------------|
|  | Sistema parado |

|   |  |
|---|--|
|    | El Vehículo Eléctrico alimenta la vivienda                   |
|    | El inversor FV alimenta al Vehículo Eléctrico                |
|    | El inversor FV alimenta la vivienda                          |
|    | El inversor FV y el Vehículo Eléctrico alimentan la vivienda |
|    | El inversor FV alimenta la vivienda y al Vehículo Eléctrico  |
|  | La red alimenta al Vehículo Eléctrico                        |
|  | La red alimenta la vivienda                                  |
|  | La red y el Vehículo Eléctrico alimentan la vivienda         |
|  | La red alimenta la vivienda y al Vehículo Eléctrico          |
|  | La red y el inversor FV alimentan al Vehículo Eléctrico      |
|  | La red y el inversor FV alimentan la vivienda                |

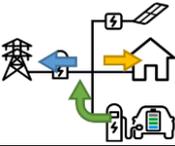
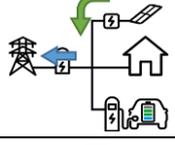
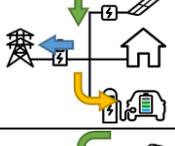
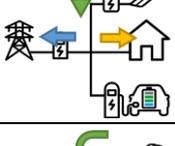
|   |   |
|---|---|
|    | La red, el inversor FV y el Vehículo Eléctrico alimentan la vivienda  |
|    | La red y el inversor FV alimentan la vivienda y al Vehículo Eléctrico |
|    | El Vehículo Eléctrico alimenta la Red y la vivienda                   |
|    | El Vehículo Eléctrico alimenta la Red                                 |
|    | El inversor FV alimenta la Red  |
|  | El inversor FV y el Vehículo Eléctrico alimentan la Red               |
|  | El inversor FV alimenta la Red y al Vehículo Eléctrico                |
|  | El inversor FV alimenta la Red y la vivienda                          |
|  | El inversor FV y el Vehículo Eléctrico alimentan la Red y la vivienda |
|  | El inversor FV alimenta la Red, la vivienda y al Vehículo Eléctrico   |

Tabla 9. Flujos Energéticos

## 7 Modelo de Optimización

En una vivienda que no disponga de medios de almacenamiento, la energía proviene directamente de la red, o de la instalación fotovoltaica en caso de una instalación con autoconsumo, de forma instantánea. La instantaneidad del consumo implica que el precio de la energía depende directamente del precio fijado por el mercado libre o regulado.

Un sistema que permita almacenar energía durante el periodo valle para luego devolverla a la red interior en periodo punta, permitiría una reducción del término de energía en la factura.

En la actualidad, los sistemas de almacenamiento en redes interiores tipo batería estacionaria no se consideran económicamente rentables, ya que el ahorro que podría suponer no compensa el coste de adquisición durante su vida útil.

Sin embargo, los propietarios de vehículos eléctricos disponen de una ventaja notable, su vehículo ya está equipado de una batería que puede utilizarse como sistema de almacenamiento cuando el vehículo está conectado a la red interna de la instalación.

El uso secundario de la batería del vehículo eléctrico no debe interferir con su uso normal. Por lo tanto, el sistema propuesto debe garantizar una disponibilidad mínima de la capacidad de la batería y no debe condicionar el uso del vehículo ni tampoco imponer ciclos de carga abusivos, con el fin de mantener la vida útil en niveles aceptables.

Además, el sistema de optimización de la vivienda no debe interferir con los sistemas de seguridad y mediciones actualmente instalados, lo que implica que en ningún caso el programa de optimización puede ordenar potencias de consumo a red superior a los programados en el ICP.

El objetivo de la optimización será, entonces, de maximizar el ahorro que se pueda realizar sobre el consumo diario de una vivienda respetando los límites anteriormente expuestos.

### 7.1 Objetivos de la optimización

El objetivo de la optimización es de reducir el coste de energía de los clientes que contraten nuestro servicio. Por ello se gestionará dos flujos de energía: el proveniente de los excedentes de autoconsumo, si los hay; y el correspondiendo al desplazamiento de los consumos en horas con precio elevado a horas con precios bajos.

Considerando que, con los contratos de discriminación horaria, a parte del escalón de precio que existe entre los periodos valle y pico, el precio también es variable hasta dentro del mismo periodo. Con esta premisa, se puede pensar en una posibilidad consistente en programar la carga a hora fija por la noche y descarga a demanda por la tarde en horas pico. Sin embargo, esta estrategia no coincidiría con el óptimo económico.

En el caso siguiente, se puede observar que la hora óptima para la carga es a las 12:00, y considerando que la hora de precio más baja es susceptible de variar cada día, es necesario que el sistema de optimización sea capaz de detectar la hora más barata para cada día. El mismo fenómeno ocurre para la hora más cara, que en el ejemplo se sitúa a las 21:00.



Figura 11. Precio PVPC 11-06-2020

Para alcanzar el óptimo económico es necesario diseñar un sistema capaz de prever el consumo de la vivienda, el coste de la energía, y, en caso de instalación con autoconsumo, la producción horaria del sistema.

Considerando que el coste de la energía facturado por la comercializadora incluye un peaje de acceso a la red, además de otros gastos para financiar el sistema, es imprescindible que el sistema considere primero almacenar los excedentes, y posteriormente calcular el óptimo económico de la transferencia de los consumos en periodos pico a periodos valle.

La unidad de tiempo utilizada por los diferentes actores del sistema (mercado eléctrico, facturación...) es la hora, por lo tanto, el sistema optimizar el consumo de la vivienda utilizando el mismo paso de tiempo.

## 7.2 Arquitectura del modelo

El sistema de optimización requiere de una primera recopilación de datos para procesar el cálculo del óptimo a diario. A continuación, se resume la actividad de cada uno de los módulos cuyo funcionamiento se describe más en detalle en los párrafos siguientes:

Es necesario precisar que para probar las diferentes partes del programa se han implementado cada uno de los elementos por separado, pero no es objeto de esta memoria cubrir los aspectos técnicos de las comunicaciones entre los diferentes componentes de este sistema.

- Módulo de previsión de producción basado sobre un modelo de predicción alimentado por el opendata de AEMET<sup>4</sup>, que permite definir el perfil de producción de una instalación de autoconsumo para el día siguiente, según una serie de parámetros normalizados.
- Módulo de predicción de consumo basado sobre los perfiles de demanda diarios de REE<sup>5</sup> y el historial de consumo del propio cliente, que permite definir el perfil de consumo de la instalación para el día siguiente.

<sup>4</sup> <https://opendata.aemet.es/centrodedescargas/inicio>

<sup>5</sup> <https://www.ree.es/es/actividades/operacion-del-sistema-electrico/medidas-electricas>

- Módulo de lectura de precio, basado sobre el precio de mercado del REE-ESIOS<sup>6</sup> para el precio horario de la energía, y sobre el mercado spot del OMIE<sup>7</sup> para el precio de los excedentes.
- Bases de datos para almacenar los diferentes perfiles de información.
- Módulos de parámetros de usuario configurados desde la aplicación.

El programa de optimización realiza a diario una extracción de los perfiles de datos y calcula el programa de carga óptimo para informar al cliente y/o al cargador del VE mediante los protocolos predeterminados.



Figura 12. Arquitectura del modelo

### 7.3 Predicción del recurso solar

Para gestionar la carga y descarga de la batería es necesario conocer todos los flujos de energía que habrá en ese posible momento futuro determinado en el que se vaya a llevar a cabo. Entre esos flujos se encuentra la producción de energía solar fotovoltaica de autoconsumo, algo no tan sencillo de calcular pues hace falta saber cuánta irradiación solar habrá en ese momento y no solo horizontal sino sobre el panel inclinado, así como cuanto producirá ese panel con dicha irradiación incidente.

<sup>6</sup> <https://www.esios.ree.es/es/pvpc>

<sup>7</sup> <https://www.omie.es/es/spot-hoy>

Aunque hay empresas que se dedican a la estimación del recurso solar a corto plazo, GRIDit ha desarrollado un modelo de predicción solar con el que estimar la producción de energía solar fotovoltaica.

El método empleado realiza una descomposición solar complementándolo con correlaciones.

### 7.3.1 Cálculo de radiación solar extraterrestre

Se ha supuesto que el sol es un foco o cuerpo negro a 5.777 K porque su distribución espectral se asemeja a la distribución espectral de la radiación solar extraterrestre incidente en la Tierra. Teniendo en cuenta que la irradiancia emitida por un cuerpo es la constante de Stefan Boltzmann multiplicada por la temperatura elevada a la cuarta y su área, además del factor de forma entre la Tierra y el Sol asociado a la distancia entre ambos cuerpos celestes a parte de su tamaño para calcular cuánto le llega a la Tierra de todo lo emitido, se calcula que a la superficie terrestre llega en torno a  $1.365 \text{ W/m}^2$  extraterrestres (antes de atravesar la atmósfera con todo lo que ello implica), algunos Vatios Arriba o abajo en función de si se pone unos Kelvin más o menos, o de que distancias se han usado para el cálculo.

Pero lo cierto es que la distancia entre la Tierra y el Sol no es constante, para corregir ese valor medio usado en función del día del año se ha utilizado el factor de corrección de Spencer por su reducido error, aunque hay otros como los de Duffie y Beckman.

Este valor alcanzado se proyecta sobre la vertical o lo que es lo mismo se multiplica por el coseno para obtener la irradiancia solar extraterrestre sobre superficie horizontal.

Por disponibilidad de tiempo y simplicidad se ha realizado un modelo simplificado discreto donde se aproxima que la Irradiación que llega es la misma que en una situación donde durante un cuarto de hora llega constantemente la irradiancia que llega a mitad de ese cuarto de hora, cuando lo cierto es que al principio llegará algo menos de irradiancia y al final de ese cuarto de hora llegará algo más de irradiancia en caso de ser la primera mitad del día solar (Figura 13), al revés si es la segunda mitad del día solar (Figura 14), siendo una irradiancia similar en ese cuarto de hora frente a un modelo continuo mediante integración en ese periodo de tiempo. La simplificación no es solo en la integración en sí sino también posteriormente al pasar la irradiancia en superficie horizontal a superficie inclinada.

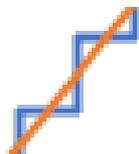


Figura 13. Discretización radiación subida

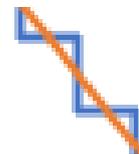


Figura 14. Discretización radiación bajada

### 7.3.2 Cálculo de radiación solar global sobre superficie horizontal y fenómenos atmosféricos

Conseguir valores a nivel de superficie terrestre no es algo trivial dado que la atmósfera no es un medio transparente como se consideraría idealmente. La atmósfera es un medio semitransparente que modifica intensidad y dirección de la irradiancia solar extraterrestre, de tal forma que hay una disminución de la irradiancia incidente sobre la superficie terrestre. Este fenómeno conocido como atenuación atmosférica se debe a la reflexión producida por las nubes, la absorción producida por el ozono ( $O^3$ ), vapor de agua ( $H^2O$ ) o el dióxido de carbono ( $CO^2$ ). Debido a estas dos últimas moléculas, la irradiancia que llega a la superficie terrestre para longitudes de onda superior a 2,5 micras es prácticamente nula (longitud de onda que se encuentra dentro del espectro infrarrojo). Y por último hay una atenuación asociada a la dispersión que aparte de modificar la magnitud modifica la dirección de la irradiancia debido al vapor de agua ( $H^2O$ ), polvo y contaminación.

Debido a la falta de recurso de datos o medidas, además de ahorro de tiempo se han usado los modelos de descomposición existentes de Macagnan (1994) establecidos para la península ibérica con medidas de Madrid, para relacionar el índice de claridad  $K_t$  (radiación global horizontal que hay en la superficie terrestre dividida por la radiación global horizontal extraterrestre) con el índice de radiación difusa  $K_d$  (radiación difusa sobre superficie horizontal dividida por la radiación global sobre superficie horizontal). En días despejados el  $K_t$  será elevado y el  $K_d$  bajo como se puede prever, pero no 1 y 0, porque por muy despejado que esté, la atmósfera sigue siendo un medio semitransparente con efectos sobre la irradiancia.

Si el día está nublado, la contaminación es elevada, o el sol no está en su punto más alto y debe atravesar más atmósfera, el  $K_t$  será bajo y el  $K_d$  elevado.

Con los datos de radiación global horizontal extraídos de la página de la junta<sup>8</sup> se ha calculado el  $K_t$  para cada hora del año que se ha correlacionado con la altura solar en base a la hipótesis de que a mayor altura solar la radiación debe atravesar menos atmósfera para llegar a la superficie terrestre sufriendo una menor atenuación atmosférica. Se ha pensado en correlacionar también con la nubosidad, sin embargo, no hemos encontrado históricos de esta variable fundamental. En su lugar se ha analizado el uso de la presión atmosférica que se relaciona estrechamente con la nubosidad y la humedad que a parte de una posible asociación a la nubosidad es directamente un atenuante atmosférico. Finalmente, no se apreció una relación estrecha con la presión atmosférica a simple vista, pero sí con la humedad.

La estación meteorológica usada para correlacionar sus medidas con los valores de radiación global horizontal extraterrestres calculados a lo largo del año ha sido la estación de Aznalcollar (EARM22, perteneciente a la red de estaciones automáticas y remotas de meteorología CMAOT).

---

<sup>8</sup> [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/sica/sima\\_av.jsp](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/sica/sima_av.jsp)

| Estación EARM22, Aznalcollar (EARM)                      |        |                   |                     |
|--|--------|-------------------|---------------------|
| Gestor   | Código | Denominación      |                     |
| Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio | EARM22 | Aznalcollar       |                     |
| Municipio  |        | Provincia         | Comarca             |
| AZNALCOLLAR  |        | SEVILLA           | Poniente de Sevilla |
| Área Climática   |        | Área Geográfica   |                     |
| Sierra Morena Occidental                                 |        | Bajo Guadalquivir |                     |
| Coordenadas (X,Y,Z)                                      | Estado | Modelo            | Observaciones       |
| 208929, 4159569, 125                                     | ACTIVO | A                 |                     |
| Entorno  |        |                   |                     |

Figura 15. Datos generales estación meteorológica

Hay que tener cuidado porque las medidas no tienen cambio horario entre invierno y verano, de modo que la campana solar está desplazada en verano debiendo corregirse antes de hacer los cálculos.

Lo adecuado habría sido correlacionar con varias situaciones geográficas a distintas altitudes sobre el nivel del mar, pero por disponibilidad de tiempo solo se ha usado las medidas de esta estación, que se ha escogido por tener valores diez minútales frente otras que pueden ser por ejemplo cada media hora como la estación de Sanlúcar o el hecho de que las de AEMET, posiblemente las más completas y fiables no dan acceso libre a datos de radiación. El  $K_t$  horario se ha obtenido sumando 4 cuartos horarios de radiación extraterrestre sobre superficie horizontal calculada por un lado y 6 diez minútales de radiación global sobre superficie horizontal por otro, teniendo en cuenta que los datos de radiación medidos son irradiancias, y se hace la aproximación de que recibe esa radiación constante desde algo antes hasta algo después, y que multiplicado por ese periodo de tiempo será la irradiación recibida en ese periodo.

Para fortalecer el hecho de que en verano el sol alcanza alturas mayores que en invierno, además de la asociación a la altura solar correlacionada, se ha hecho dos correlaciones, una con medidas representativas de los meses más fríos y otras representativas de los meses más calurosos. Las medidas asociadas a los meses más fríos son de los meses de enero y noviembre, mientras que de los meses más calurosos se han usado abril y julio. La idea era utilizar 4 años de medidas desde 2016 hasta 2019 pero solo se han usado los dos primeros años por disponibilidad de tiempo, sumando un total de entre 3.000 y 18.000 datos aproximadamente por variable en función de si se tiene en cuenta como horario, cuarto horario o diez minútales.

A lo largo del año se observa que hay medidas de radiación pequeñas varios minutos antes de que salga el sol, esto puede deberse al efecto conocido como crepúsculo del amanecer o alba, donde el sol no ha salido aún, pero queda poco para que salga y por efecto de dispersión atmosférica llega algo de luz antes de que el sol suba del horizonte. Esto provoca que cuando sale el sol hay algo más de luz de la que debería matemáticamente y el  $K_t$  sea muy elevado.

Aunque cabía esperar lo mismo al atardecer, que la luz duré un poco más de la puesta del sol con esos valores pequeños de radiación, lo cierto es que el sol se pone algo pronto desde el punto de vista de las medidas. Habría que analizar donde se encuentra el sensor y si puede verse afectado por algún tipo de sombra al final del día o por las propias montañas del horizonte. Debido a esto conforme pasa el día el  $K_t$  baja como debe ser, pero llega a bajar demasiado en la última hora de sol que corresponda a ese día.

Para minimizar los efectos de estos fenómenos en la correlación solo se han correlacionado medidas entre 0,1 y 0,9 de  $K_t$  de la correlación para que los instantes iniciales y finales del día no afecten al resto del día.

Uno podría pensar que al hacer una correlación con la altura solar no hace falta eliminar esos valores, pero usar estos valores de los extremos del día provocaría una contradicción en el resto del día y alturas solares. Otra cosa sería separar también la correlación en el grueso central de horas solares, por un lado, y los valores del extremo del día por otro como cuando en mecánica de fluidos separas el grueso del volumen fluido de la parte cercana a la pared dentro de la capa límite. Pero estudiar esos valores en los extremos del día queda fuera del alcance de este proyecto.

De modo que al principio del día habrá más radiación de la que diga el modelo.

Al día 14 de enero de 2016 le faltan muchas medidas y se ha eliminado de la correlación. A parte faltaban dos o tres datos diez minútales separados en distintos días que se ha obtenido del de la media de diez minutos antes con el de diez minutos después.

La altura solar correlacionada para cada hora ha sido la correspondiente en la mitad de ese periodo horario. Evidentemente no se ha hecho correlación cuando el sol no ha salido.

El  $K_t$  se ha correlacionado como una variable dependiente con las otras dos medidas, altura solar y humedad, como variables independientes.

La altura solar es la que es en el momento que le corresponda con independencia de las otras variables. La humedad es cierto que a mayor altura suele ser menor pero depende de otras muchas cosas y a efectos prácticos es independiente, porque será el valor que le corresponda en ese momento según la predicción climática con independencia de la altura solar asociada.

Los resultados son:

Para los meses con horario de invierno:

$$- K_t = 0,34597561 + 0,01056009 * \text{altura solar (grados)} - 0,00097841 * \text{humedad}$$

Para los meses con horario de verano:

$$- K_t = 0,50040355 + 0,00330246 * \text{altura solar (grados)} - 0,00149901 * \text{Humedad}$$

A mayor altura solar, mayor coeficiente de transparencia o índice de claridad  $K_t$ . En cambio, con el aumento de la humedad el  $K_t$  disminuye.

En la Tabla 10 y la Tabla 11 se pueden observar los valores estadísticos de las correlaciones. El coeficiente de determinación  $R^2$  es relativamente bajo, lo que implica una dispersión de los datos que no están próximos a ser una línea. El error típico de  $K_t$  en invierno es de en torno 0,22 y el de Verano de 0,17. El de invierno puede ser mayor por haber usado solo 982 datos horarios por variable finalmente frente a los 1.462 de verano. Esto se debe a que en verano hay más cantidad de horas de sol, además del hecho de que se quitó un día de invierno.

Sin embargo, la relación entre estas tres variables sí que es muy fuerte (es decir, efectivamente, que varíe una variable independiente en un sentido determinado hace variar la variable dependiente en otro) como se observa en el análisis de la varianza. Si el valor crítico de F es

menor que el valor de alfa que queremos darle, por ejemplo 95 por ciento de confianza o alfa igual a 5%, quiere decir que es una variable significativa a correlacionar, como es muy cercano a cero, prácticamente cero, la relación es buena.

Si se analiza por separado, para que en caso de que una de las variables no sea significativa quitarla y mejorar F crítico, aunque es bueno, se ve que ambas tienen un valor en la columna probabilidad inferior al alfa asociado a un alto grado de confianza.

|    | A  | B                         | C                        | D                                | E                   | F                         | G                   | H                     | I                     |
|----|--|---------------------------|--------------------------|----------------------------------|---------------------|---------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1  | Resumen                                      |                           |                          |                                  |                     |                           |                     |                       |                       |
| 2  |  |                           |                          |                                  |                     |                           |                     |                       |                       |
| 3  | <b>Estadísticas de la regresión</b>          |                           |                          |                                  |                     |                           |                     |                       |                       |
| 4  | Coefficiente de correlación múltiple         | 0,421969365               |                          |                                  |                     |                           |                     |                       |                       |
| 5  | Coefficiente de determinación R <sup>2</sup> | 0,178058145               |                          |                                  |                     |                           |                     |                       |                       |
| 6  | R <sup>2</sup> ajustado                      | 0,176378999               |                          |                                  |                     |                           |                     |                       |                       |
| 7  | Error típico                                 | 0,220142494               |                          |                                  |                     |                           |                     |                       |                       |
| 8  | Observaciones                                | 982                       |                          |                                  |                     |                           |                     |                       |                       |
| 9  |  |                           |                          |                                  |                     |                           |                     |                       |                       |
| 10 | <b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>                  |                           |                          |                                  |                     |                           |                     |                       |                       |
| 11 |  | <b>Grados de libertad</b> | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>Promedio de los cuadrados</b> | <b>F</b>            | <b>Valor crítico de F</b> |                     |                       |                       |
| 12 | Regresión                                    | 2                         | 10,27806132              | 5,139030659                      | 106,0409098         | 2,06403E-42               |                     |                       |                       |
| 13 | Residuos                                     | 979                       | 47,44500048              | 0,048462718                      |                     |                           |                     |                       |                       |
| 14 | Total  | 981                       | 57,7230618               |                                  |                     |                           |                     |                       |                       |
| 15 |  |                           |                          |                                  |                     |                           |                     |                       |                       |
| 16 |  | <b>Coefficientes</b>      | <b>Error típico</b>      | <b>Estadístico t</b>             | <b>Probabilidad</b> | <b>Inferior 95%</b>       | <b>Superior 95%</b> | <b>Inferior 95,0%</b> | <b>Superior 95,0%</b> |
| 17 | Intercepción                                 | 0,345975612               | 0,02378726               | 14,54457584                      | 1,5495E-43          | 0,299295728               | 0,392655496         | 0,299295728           | 0,392655496           |
| 18 | Altura solar                                 | 0,01056009                | 0,000862716              | 12,24052375                      | 3,70239E-32         | 0,008867105               | 0,012253074         | 0,008867105           | 0,012253074           |
| 19 | Humedad                                      | -0,000978405              | 0,00019132               | -5,11396282                      | 3,79425E-07         | -0,001353851              | -0,00060296         | -0,001353851          | -0,00060296           |

Tabla 10. Resultados Invierno

|    | A  | B                         | C                        | D                                | E                   | F                         | G                   | H                     | I                     |
|----|--|---------------------------|--------------------------|----------------------------------|---------------------|---------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1  |  |                           |                          |                                  |                     |                           |                     |                       |                       |
| 2  |  |                           |                          |                                  |                     |                           |                     |                       |                       |
| 3  |  |                           |                          |                                  |                     |                           |                     |                       |                       |
| 4  | Resumen                                      |                           |                          |                                  |                     |                           |                     |                       |                       |
| 5  |  |                           |                          |                                  |                     |                           |                     |                       |                       |
| 6  | <b>Estadísticas de la regresión</b>          |                           |                          |                                  |                     |                           |                     |                       |                       |
| 7  | Coefficiente de correlación múltiple         | 0,419522471               |                          |                                  |                     |                           |                     |                       |                       |
| 8  | Coefficiente de determinación R <sup>2</sup> | 0,175999103               |                          |                                  |                     |                           |                     |                       |                       |
| 9  | R <sup>2</sup> ajustado                      | 0,174869561               |                          |                                  |                     |                           |                     |                       |                       |
| 10 | Error típico                                 | 0,175871118               |                          |                                  |                     |                           |                     |                       |                       |
| 11 | Observaciones                                | 1462                      |                          |                                  |                     |                           |                     |                       |                       |
| 12 |  |                           |                          |                                  |                     |                           |                     |                       |                       |
| 13 | <b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>                  |                           |                          |                                  |                     |                           |                     |                       |                       |
| 14 |  | <b>Grados de libertad</b> | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>Promedio de los cuadrados</b> | <b>F</b>            | <b>Valor crítico de F</b> |                     |                       |                       |
| 15 | Regresión                                    | 2                         | 9,638891905              | 4,819445952                      | 155,8145706         | 4,66923E-62               |                     |                       |                       |
| 16 | Residuos                                     | 1459                      | 45,12781839              | 0,03093065                       |                     |                           |                     |                       |                       |
| 17 | Total  | 1461                      | 54,76671029              |                                  |                     |                           |                     |                       |                       |
| 18 |  |                           |                          |                                  |                     |                           |                     |                       |                       |
| 19 |  | <b>Coefficientes</b>      | <b>Error típico</b>      | <b>Estadístico t</b>             | <b>Probabilidad</b> | <b>Inferior 95%</b>       | <b>Superior 95%</b> | <b>Inferior 95,0%</b> | <b>Superior 95,0%</b> |
| 20 | Intercepción                                 | 0,500403551               | 0,012062822              | 41,48312538                      | 4,2232E-249         | 0,476741225               | 0,524065877         | 0,476741225           | 0,524065877           |
| 21 | Altura solar                                 | 0,003302456               | 0,000242707              | 13,60675016                      | 8,75029E-40         | 0,002826364               | 0,003778548         | 0,002826364           | 0,003778548           |
| 22 | Humedad                                      | -0,00149901               | 0,000164317              | -9,122666474                     | 2,36422E-19         | -0,001821333              | -0,001176687        | -0,001821333          | -0,001176687          |

Tabla 11. Resultados Verano

La relación es muy fuerte pero la dispersión también, llegando a un error típico de Kt ciertamente importante. Para mejorar el modelo y que se aproxime el resultado a la ecuación obtenida de la correlación se puede prever como se ha visto entre los resultados de verano e invierno que si se añaden muchas más medidas en las correlaciones se puede mejorar.

Además, puede que, en vez de lineal, encaje mejor otra ecuación de segundo o tercer orden, por ejemplo.

Aunque está claro que el K<sub>t</sub> responde más a la nubosidad que a la humedad y es fundamental para mejorar la precisión del modelo, con los resultados obtenidos se podría decir que aun haciendo la correlación del K<sub>t</sub> con la nubosidad como se debería hacer, es interesante hacerla adicionalmente con la humedad, aparte por supuesto de la altura solar.

En el programa se puede ver como las horas de salida y puesta del sol así como el momento central del día coincide con la que debe haber cada día, y si se compara con las medidas de la estación meteorológica de la ETSI<sup>9</sup> se obtienen valores muy cercanos aunque también muy dispares con un error de más de 100 w/m<sup>2</sup>, todo esto teniendo en cuenta que el programa tiene la hora oficial y el de la ETSI la hora estándar, quedando desplazado dos horas en verano y una en invierno. Recordando del apartado anterior, el K<sub>t</sub> tenía un error típico de entre 0,17 y 0,22, lo que supone hasta un error típico de en torno 200 w/m<sup>2</sup>.

### 7.3.3 Producción fotovoltaica

Esta última correlación realizada permite obtener el K<sub>t</sub> para cada día, y la de Macagnan el K<sub>d</sub>. Ahora el modelo matemático está completo para obtener la radiación sobre la superficie inclinada del panel.

Con la radiación que recibe el panel a lo largo de un día y los W<sub>p</sub> instalados se obtiene la producción ideal fotovoltaica que tiene ese panel en ese día.

Con el TONC del panel y la temperatura ambiente se estima la temperatura del panel en un momento determinado. La temperatura del panel lleva asociado una variación en su producción, generalmente pérdidas al estar a una temperatura superior a 25 grados Celsius establecido como estándar de producción del panel.

Finalmente, se multiplicaría por un factor corrector o se haría una correlación en base a las medidas de producción fotovoltaica del cliente con objeto de representar el resto de las pérdidas asociados a los equipos electrónicos, disipación en el cableado, suciedad del panel, etc. Así como asemejar el modelo teórico al modelo real.

Sobra decir que cuanto menos se cargue esta correlación y más pérdidas se quiten antes de llevarla a cabo (Por ejemplo, quitando las pérdidas del inversor asociado a su rendimiento en función de la tensión de entrada que está a su vez relacionada con la temperatura del panel, así como potencia de entrada etc) mejor funcionará esta correlación.

### 7.4 Predicción de la demanda energética

El modelo necesita conocer las curvas horarias de los consumos eléctricos de los clientes del día D+1, de forma que pueda realizar la optimización para este día.

Los contadores inteligentes son los equipos de medida que registran la lectura real del consumo eléctrico horario de forma remota y lo almacenan, es decir, que se dispone del histórico de consumos del cliente, para, a partir de esta información, realizar previsiones.

A partir del histórico de varios contadores inteligentes, se ha determinado que los ciudadanos siguen una tendencia de consumos semanal, exceptuando festivos. Se concluye que se pueden emplear periodos precedentes similares, corrigiéndolos con una serie de factores influyentes en el consumo como laboralidad, climatología y actividad económica.

---

<sup>9</sup> [http://estacionmeteo.us.gter.es/pages/real\\_time\\_measurements](http://estacionmeteo.us.gter.es/pages/real_time_measurements)

El operador del sistema, diariamente realiza previsiones para consumos nacionales, considerando estos factores influyentes en el consumo. La siguiente imagen vemos estas previsiones de REE para el día d+1:



Figura 16. Previsión diaria D+1 Demanda

La web mostrada anteriormente dispone de una API para la descarga automática de información, por lo que, a través del sistema de recopilación de información desarrollado se almacena en la base de datos propia de GRIDit.

Disponiendo de los datos de previsiones de REE, con su variabilidad, se realiza un ajuste en los consumos de los clientes, y así se cargan en el modelo las curvas de consumo para el día siguiente.

Es cierto que cada cliente y cada día son diferentes, pero con este modelo, se realiza una previsión bastante ajustada de los consumos horarios de los clientes. En el siguiente ejemplo se observa la previsión realizada para un cliente de GRIDit un día del pasado mes de enero, donde la variabilidad entre lo previsto y lo real fue del 4,5%:

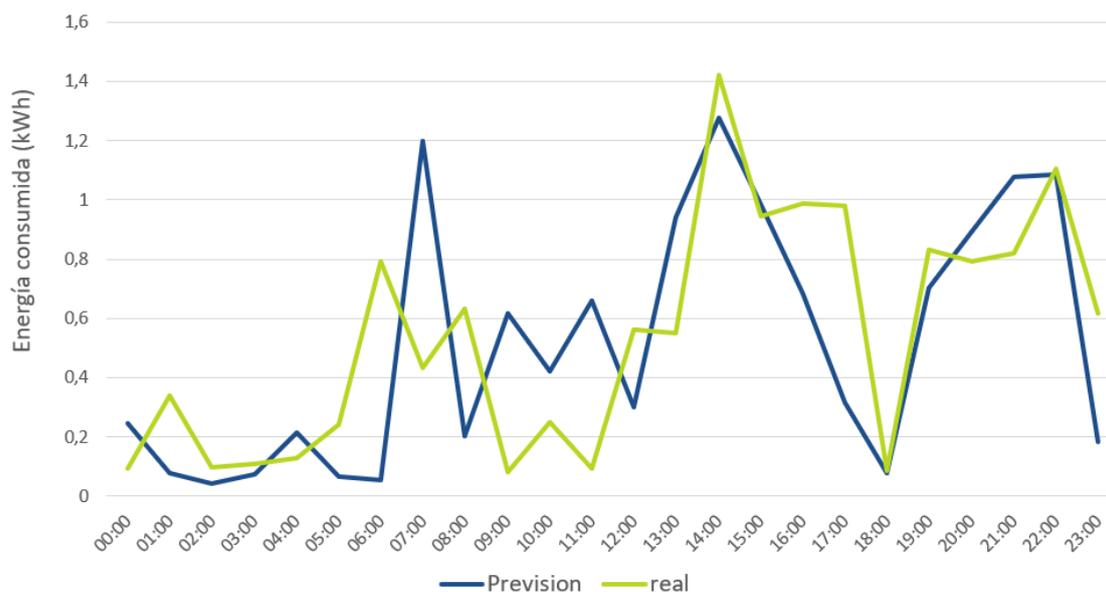


Figura 17. Variabilidad de curvas de consumo previstas y reales

Toda esta información queda recogida en la BBDD propia de GRIDit para aportarla al sistema cuando se disponga de toda la información necesaria.

## 7.5 Precio de compra de energía eléctrica

Como se detalló en el apartado de Tarifas Eléctricas, los clientes pueden estar en mercado regulado o en mercado libre, ambos con precios de compra energéticos diferentes.

### 7.5.1 Mercado Regulado

En el Mercado Regulado, el precio que pagas por tu electricidad es variable, y depende de la demanda de energía que exista en cada momento del día. Al contrario que ocurre en el mercado libre, donde el usuario tiene un gran número de comercializadoras de electricidad donde elegir, en España solo existen 8 Comercializadoras de Referencia con las que se puede contratar la tarifa PVPC.

Red Eléctrica, como transportista y operador del sistema eléctrico español, publica los nuevos precios horarios de electricidad, conforme a lo establecido en el Real Decreto 216/2014, de 28 de marzo. Estos datos los pone a disposición del ciudadano con el fin que pueda modificar sus hábitos de consumo adecuándolos a los precios de la energía en cada momento, para así realizar un consumo inteligente.

En torno a las 20:15h de cada día, Red Eléctrica publica, a través de su página web, publica los precios horarios de la electricidad que se aplicarán en cada una de las 24 horas del día siguiente. Estos precios se muestran de acuerdo con tres tipos de tarifas:

- Tarifa general (Tarifa por defecto).
- Tarifa nocturna o de discriminación horaria (Eficiencia 2 periodos).
- Tarifa supervalle (Vehículo eléctrico).

**TÉRMINO DE FACTURACIÓN DE ENERGÍA ACTIVA DEL PVPC**

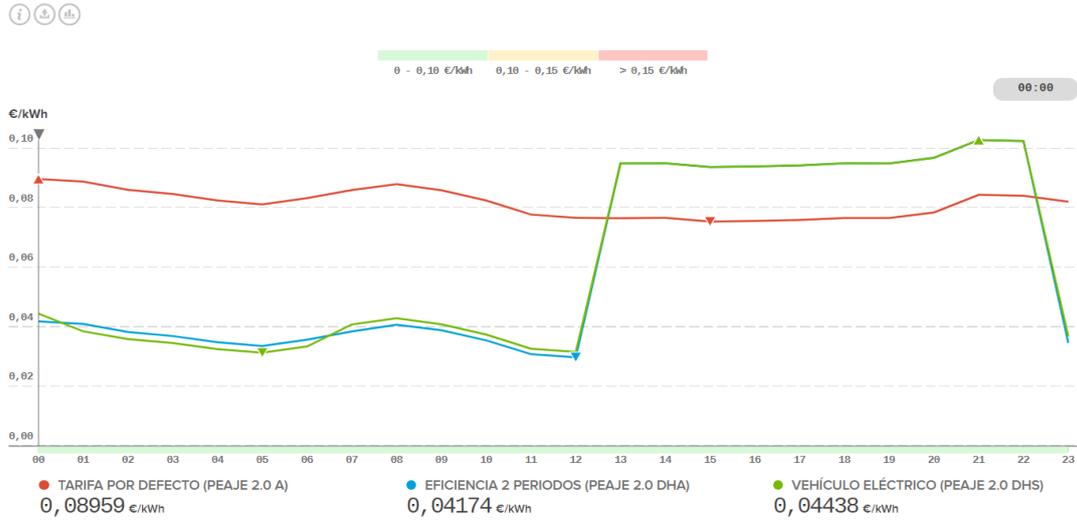


Figura 18. Término de Energía del PVPC

A través de la API disponible en REE, se extrae automáticamente esta información y se almacena en la BBDD propia. Este proceso se realiza a través de la Raspberry donde se ha montado el servidor propio y mediante un software llamado Node-Red.

A través del siguiente Nodo se realiza de forma automática el proceso descrito anteriormente:

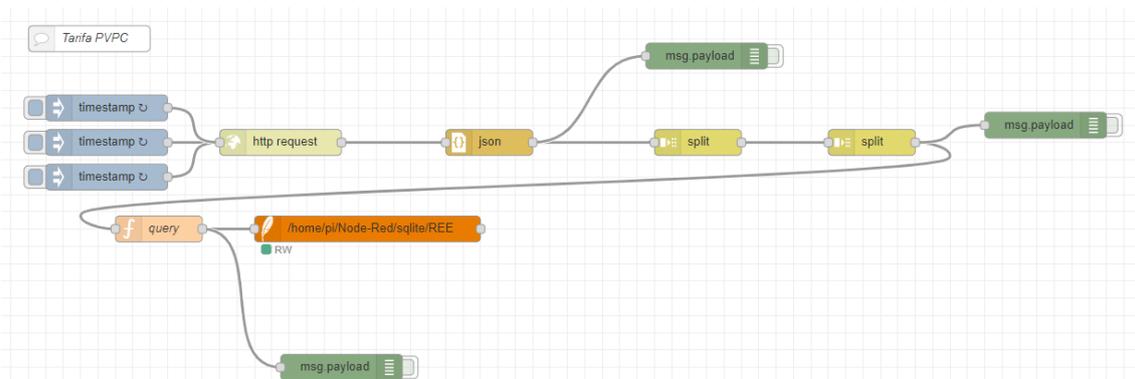


Figura 19. Nodo de extracción de los precios de REE

Y los datos mencionados anteriormente se almacenan en la siguiente BBDD propia montada en el servidor, a partir de la cual se alimenta al modelo de optimización para procesar la información:

Estructura de la Base de datos | Navegar Datos | Editar Pragmas | Ejecutar SQL

Tabla: TARIFA\_PVPC

|    | Fecha_Hora       | ifa_Defecto_2 | nino_Energia | aje_Acceso_20 | Mercado_20A | vicios_Ajuste_ | o_Capacidad_ | rrumpibilidad | nciacion_OS_ | nciacion_OM_ | comercializaci | ia_Defecto |
|----|------------------|---------------|--------------|---------------|-------------|----------------|--------------|---------------|--------------|--------------|----------------|------------|
|    | Filtro           | Filtro        | Filtro       | Filtro        | Filtro      | Filtro         | Filtro       | Filtro        | Filtro       | Filtro       | Filtro         | Filtro     |
| 1  | 2020/06/11 23:00 | 81.98         | 37.96        | 44.03         | 27.58       | 3.25           | 5.39         | 0.05          | 0.16         | 0.03         | 1.5            | 34.53      |
| 2  | 2020/06/11 22:00 | 83.98         | 39.95        | 44.03         | 30.45       | 2.42           | 5.32         | 0.05          | 0.16         | 0.03         | 1.52           | 102.4      |
| 3  | 2020/06/11 21:00 | 84.31         | 40.3         | 44.03         | 30.93       | 2.32           | 5.29         | 0.05          | 0.16         | 0.03         | 1.52           | 102.74     |
| 4  | 2020/06/11 20:00 | 78.36         | 34.34        | 44.03         | 25          | 2.41           | 5.26         | 0.05          | 0.16         | 0.03         | 1.43           | 96.75      |
| 5  | 2020/06/11 19:00 | 76.51         | 32.48        | 44.03         | 23.23       | 2.41           | 5.22         | 0.05          | 0.15         | 0.03         | 1.39           | 94.86      |
| 6  | 2020/06/11 18:00 | 76.53         | 32.49        | 44.03         | 22.99       | 2.7            | 5.19         | 0.04          | 0.15         | 0.03         | 1.39           | 94.88      |
| 7  | 2020/06/11 17:00 | 75.84         | 31.81        | 44.03         | 22.4        | 2.62           | 5.19         | 0.04          | 0.15         | 0.03         | 1.38           | 94.18      |
| 8  | 2020/06/11 16:00 | 75.51         | 31.47        | 44.03         | 21.59       | 3.1            | 5.19         | 0.04          | 0.15         | 0.03         | 1.37           | 93.85      |
| 9  | 2020/06/11 15:00 | 75.34         | 31.31        | 44.03         | 21.43       | 3.07           | 5.21         | 0.05          | 0.15         | 0.03         | 1.37           | 93.68      |
| 10 | 2020/06/11 14:00 | 76.57         | 32.54        | 44.03         | 22.96       | 2.78           | 5.19         | 0.04          | 0.15         | 0.03         | 1.39           | 94.91      |
| 11 | 2020/06/11 13:00 | 76.47         | 32.43        | 44.03         | 23.32       | 2.34           | 5.17         | 0.04          | 0.15         | 0.03         | 1.38           | 94.82      |
| 12 | 2020/06/11 12:00 | 76.58         | 32.55        | 44.03         | 23.52       | 2.23           | 5.19         | 0.04          | 0.15         | 0.03         | 1.39           | 29.71      |
| 13 | 2020/06/11 11:00 | 77.67         | 33.63        | 44.03         | 24.65       | 2.17           | 5.19         | 0.04          | 0.15         | 0.03         | 1.4            | 30.75      |
| 14 | 2020/06/11 10:00 | 82.39         | 38.36        | 44.03         | 29.14       | 2.35           | 5.18         | 0.04          | 0.15         | 0.03         | 1.47           | 35.38      |
| 15 | 2020/06/11 09:00 | 85.83         | 41.79        | 44.03         | 32.4        | 2.48           | 5.17         | 0.04          | 0.15         | 0.03         | 1.52           | 38.78      |
| 16 | 2020/06/11 08:00 | 87.87         | 43.84        | 44.03         | 33.79       | 3.04           | 5.22         | 0.05          | 0.15         | 0.03         | 1.56           | 40.63      |
| 17 | 2020/06/11 07:00 | 85.9          | 41.88        | 44.03         | 30.2        | 4.51           | 5.37         | 0.05          | 0.16         | 0.03         | 1.56           | 38.39      |
| 18 | 2020/06/11 06:00 | 83.18         | 39.16        | 44.03         | 26.52       | 5.44           | 5.43         | 0.05          | 0.16         | 0.03         | 1.53           | 35.64      |
| 19 | 2020/06/11 05:00 | 81.1          | 37.06        | 44.03         | 24.8        | 5.05           | 5.47         | 0.05          | 0.16         | 0.03         | 1.5            | 33.51      |
| 20 | 2020/06/11 04:00 | 82.4          | 38.38        | 44.03         | 26.08       | 5.04           | 5.49         | 0.05          | 0.16         | 0.03         | 1.53           | 34.73      |
| 21 | 2020/06/11 03:00 | 84.6          | 40.57        | 44.03         | 28.49       | 4.78           | 5.5          | 0.05          | 0.16         | 0.03         | 1.56           | 36.84      |
| 22 | 2020/06/11 02:00 | 86            | 41.97        | 44.03         | 30.85       | 3.81           | 5.49         | 0.05          | 0.16         | 0.03         | 1.58           | 38.19      |
| 23 | 2020/06/11 01:00 | 88.77         | 44.75        | 44.03         | 34.01       | 3.4            | 5.48         | 0.05          | 0.16         | 0.03         | 1.62           | 40.91      |
| 24 | 2020/06/11 00:00 | 89.59         | 45.56        | 44.03         | 35.63       | 2.61           | 5.45         | 0.05          | 0.16         | 0.03         | 1.63           | 41.74      |
| 25 | 2020/06/10 23:00 | 88.26         | 44.23        | 44.03         | 34.76       | 2.28           | 5.36         | 0.05          | 0.16         | 0.03         | 1.59           | 40.65      |
| 26 | 2020/06/10 22:00 | 89.16         | 45.13        | 44.03         | 36.13       | 1.88           | 5.29         | 0.05          | 0.16         | 0.03         | 1.59           | 107.62     |

1 - 27 de 384 | Ir a: 1

Figura 20. BBDD Tarifa PVPC

### 7.5.2 Mercado Libre

En el mercado libre de electricidad, cualquier empresa con la calificación de comercializadora puede ofrecer tarifas de luz a particulares, negocios y empresas. A diferencia del mercado regulado, las comercializadoras del mercado libre disponen de un margen de comercialización que establecen según crean conveniente. Por ello, las comercializadoras eligen el precio del kWh de cada una de sus tarifas en función de sus estrategias comerciales, por lo que es habitual encontrar ofertas y descuentos en estas tarifas eléctricas.

Los precios ofertados por estas comercializadoras vienen estipulados en el contrato de cada cliente, por lo que este precio fijo se carga en la BBDD de GRIDit para alimentar al modelo.

Según la CNMC, actualmente existen más de 270 comercializadoras eléctricas de libre mercado en España.

### 7.6 Precio de venta de excedentes

Desde el pasado mes de marzo, los autoconsumidores ya puedan oficialmente verter los excedentes que producen sus instalaciones a la red. Desde esta fecha, distribuidoras y comercializadoras pusieron en marcha los procedimientos de operación de medidas y de liquidaciones adaptados al RD 244/2019 de autoconsumo.

Según las modalidades de autoconsumo detallados en el RD 244/2019, los excedentes se pueden gestionar mediante compensación simplificada o mediante venta directa a red.

#### 7.6.1 Compensación simplificada

La compensación simplificada de excedentes de energía es el proceso que se permite vender la energía solar de forma automática, sencilla y gratuita a nuestra comercializadora, sin todas las complicaciones que producir y vender energía conlleva. El precio de venta de los excedentes es el acordado con la comercializadora contratada, y el precio de venta total mensual de estos excedentes nunca podrá ser mayor que el precio pagado por la energía consumida.

Las Comercializadoras que trabajen con este tipo de Autoconsumidores tendrán que adquirir menos energía, realizando unos pagos inferiores por la misma asociados fundamentalmente con el precio del mercado mayorista o Pool gestionado por OMIE.

En el contrato con la comercializadora se deberá reflejar la modalidad de autoconsumo, además del precio de compensación de estos excedentes acordado entre las dos partes, por lo que estos precios se van a cargar en la BBDD de GRIDit para alimentar al modelo.

#### 7.6.2 Venta directa a red

Los autoconsumidores puede acogerse a este tipo de modalidad de gestión de excedentes, en el que la energía sobrante se vende directamente al operador de mercado. Bajo este régimen la energía horaria excedentaria se valora al precio horario del pool.

Los autoconsumidores que operen bajo esta modalidad tendrán la consideración de productores debiendo cumplir con lo establecido en la normativa (representante, etc.). La energía vendida deberá satisfacer el peaje a la generación (0,5€/MWh, se eliminará con la entrada en vigor de la nueva circular 3/2020 de la CNMC) y su valoración económica estará sujeta al impuesto del 7%.

En esta modalidad precios fluctúan horariamente según el mercado eléctrico, por lo que es importante almacenar esta información para poder aportársela al modelo.

En torno a las 13:30h de cada día, el operador de mercado, a través de su página web, publica los precios horarios del mercado eléctrico que se aplicarán en cada una de las 24 horas del día siguiente.

Precio del mercado diario



Figura 21. Precio del Mercado Diario

Al igual que para las tarifas del PVPC, REE publica en su plataforma ESIOS estos datos, los cuales se pueden extraer a través de su API propia. Estos precios los almacenamos en la BBDD propia mediante la función GET desarrollada en el siguiente nodo de Node-Red:

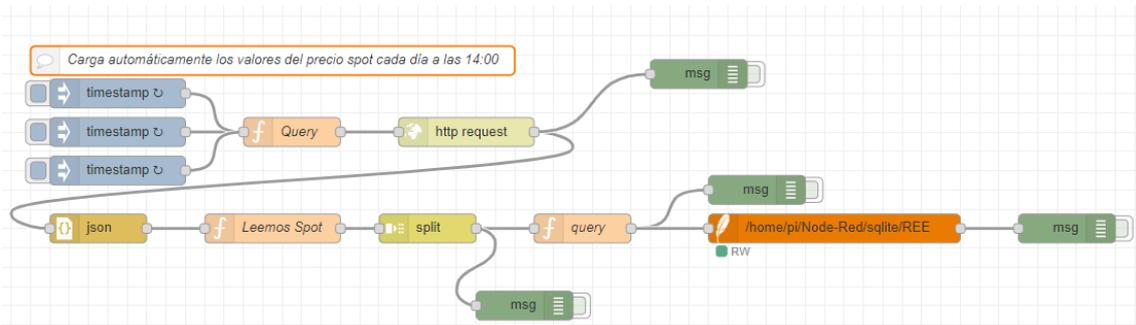


Figura 22. Nodo de extracción de los precios de OMIE

Estos datos los almacenamos en la siguiente BBDD montada en el servidor propio:

Estructura de la Base de datos | Navegar Datos | Editar Pragmas | Ejecutar SQL

Tabla: OMIE\_SPOT

|    | Datetime ▲     | Fecha_Hora       | Precio | Fecha_Carga |
|----|----------------|------------------|--------|-------------|
|    | Filtro         | Filtro           | Filtro | Filtro      |
| 1  | 2020-06-12T... | 2020/06/12 23:00 | 23     | 2020-6-11   |
| 2  | 2020-06-12T... | 2020/06/12 22:00 | 25.46  | 2020-6-11   |
| 3  | 2020-06-12T... | 2020/06/12 21:00 | 24.7   | 2020-6-11   |
| 4  | 2020-06-12T... | 2020/06/12 20:00 | 26.01  | 2020-6-11   |
| 5  | 2020-06-12T... | 2020/06/12 19:00 | 20.8   | 2020-6-11   |
| 6  | 2020-06-12T... | 2020/06/12 18:00 | 20.6   | 2020-6-11   |
| 7  | 2020-06-12T... | 2020/06/12 17:00 | 19.6   | 2020-6-11   |
| 8  | 2020-06-12T... | 2020/06/12 16:00 | 17.4   | 2020-6-11   |
| 9  | 2020-06-12T... | 2020/06/12 15:00 | 16.25  | 2020-6-11   |
| 10 | 2020-06-12T... | 2020/06/12 14:00 | 17.71  | 2020-6-11   |
| 11 | 2020-06-12T... | 2020/06/12 13:00 | 19     | 2020-6-11   |
| 12 | 2020-06-12T... | 2020/06/12 12:00 | 19.45  | 2020-6-11   |
| 13 | 2020-06-12T... | 2020/06/12 11:00 | 20.5   | 2020-6-11   |
| 14 | 2020-06-12T... | 2020/06/12 10:00 | 21.07  | 2020-6-11   |
| 15 | 2020-06-12T... | 2020/06/12 09:00 | 23.23  | 2020-6-11   |
| 16 | 2020-06-12T... | 2020/06/12 08:00 | 26.01  | 2020-6-11   |
| 17 | 2020-06-12T... | 2020/06/12 07:00 | 22.68  | 2020-6-11   |
| 18 | 2020-06-12T... | 2020/06/12 06:00 | 19.14  | 2020-6-11   |
| 19 | 2020-06-12T... | 2020/06/12 05:00 | 16.64  | 2020-6-11   |
| 20 | 2020-06-12T... | 2020/06/12 04:00 | 16     | 2020-6-11   |
| 21 | 2020-06-12T... | 2020/06/12 03:00 | 16.01  | 2020-6-11   |
| 22 | 2020-06-12T... | 2020/06/12 02:00 | 17.09  | 2020-6-11   |
| 23 | 2020-06-12T... | 2020/06/12 01:00 | 17.96  | 2020-6-11   |
| 24 | 2020-06-12T... | 2020/06/12 00:00 | 20.7   | 2020-6-11   |
| 25 | 2020-06-11T... | 2020/06/11 23:00 | 23.81  | 2020-6-10   |
| 26 | 2020-06-11T... | 2020/06/11 22:00 | 26.51  | 2020-6-10   |

1 - 27 de 3575

Figura 23. BBDD Precio Mercado Diario

## 7.7 Disponibilidad del Vehículo Eléctrico

El último Input que hay que suministrar al modelo para que procese la información y optimice el coste, es la disponibilidad del vehículo eléctrico para el día siguiente. Esta información la aporta el cliente, conocida su agenda del día siguiente, a través de la interfaz propia desarrollada para teléfonos móviles.

La disponibilidad de la batería es un factor clave para que el modelo optimice, pues gracias a esta es posible desplazar consumos de horas pico a horas valle, y poder consumir esta energía almacenada en las horas en las que la energía es más cara.

Esta previsión de disponibilidad del VE es de especial importancia también para la previsión de consumo energético de la vivienda, pues si el cliente está en su residencia, con el VE disponible para la optimización, el consumo de la vivienda es mayor que cuando no hay nadie.

El cliente debe cumplimentar una tabla, ya configurada en la app móvil, donde detalle de forma aproximada la disponibilidad de la batería, ya sea de VE o estacionaria. Esta previsión se puede realizar hasta una hora antes de las 00:00 del día siguiente. Además, la app permite configurar diferentes modelos, y automatizarlos, de forma que el cliente se despreocupa de estas previsiones y únicamente debería modificar horas puntuales en las varí su agenda.

La tabla tiene el siguiente formato, donde se representa en verde las horas en las que la batería está disponible para su almacenamiento, y en rojo cuando no, bien porque el VE está fuera de la residencia o porque la batería estacionaria está averiada.

Dependiendo de la jornada laboral del cliente, se han definido varios modelos predeterminados, sin embargo, se pueden crear y modificar todos los necesarios:

- Jornada partida. Este modelo de disponibilidad representa jornada laboral partida del cliente, sábados disponibilidad parcial y domingo disponibilidad completa.

|           | 00-01 | 01-02 | 02-03 | 03-04 | 04-05 | 05-06 | 06-07 | 07-08 | 08-09 | 09-10 | 10-11 | 11-12 | 12-13 | 13-14 | 14-15 | 15-16 | 16-17 | 17-18 | 18-19 | 19-20 | 20-21 | 21-22 | 22-23 | 23-24 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Lunes     | Verde | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Verde |
| Martes    | Verde | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Verde |
| Miércoles | Verde | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Verde |
| Jueves    | Verde | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Verde |
| Viernes   | Verde | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Verde |
| Sábado    | Verde |
| Domingo   | Verde |

Figura 24. Disponibilidad de la batería con Jornada Partida

- Teletrabajo + Jornada partida. Este modelo de disponibilidad representa dos días de teletrabajo y tres con jornada laboral partida del cliente. Los sábados la disponibilidad es parcial y el domingo disponibilidad completa.

|           | 00-01 | 01-02 | 02-03 | 03-04 | 04-05 | 05-06 | 06-07 | 07-08 | 08-09 | 09-10 | 10-11 | 11-12 | 12-13 | 13-14 | 14-15 | 15-16 | 16-17 | 17-18 | 18-19 | 19-20 | 20-21 | 21-22 | 22-23 | 23-24 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Lunes     | Verde | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Verde |
| Martes    | Verde | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Verde |
| Miércoles | Verde | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Verde |
| Jueves    | Verde | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Verde |
| Viernes   | Verde | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Rojo  | Verde |
| Sábado    | Verde |
| Domingo   | Verde |

Figura 25. Disponibilidad de la batería con Teletrabajo + Jornada Partida

- Jornada intensiva. Este modelo de disponibilidad representa jornada intensiva para el cliente, sábados disponibilidad parcial y domingo disponibilidad completa

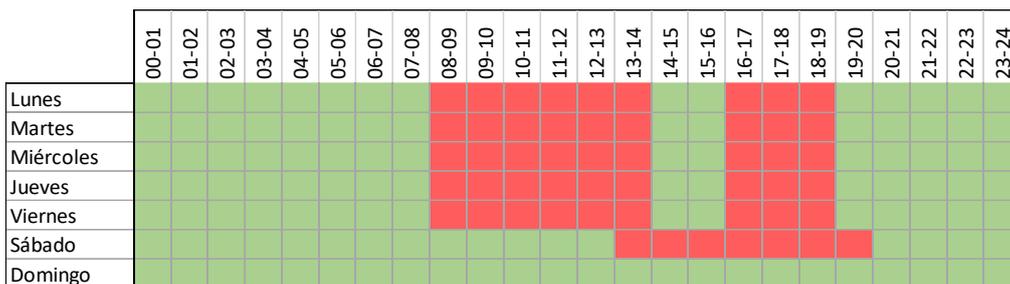


Figura 26. Disponibilidad de la batería con Jornada Intensiva

- Disponibilidad plena. Este modelo de disponibilidad representa la batería conectada en todo momento a la red. Esta configuración se asocia más a un sistema con batería estacionaria.

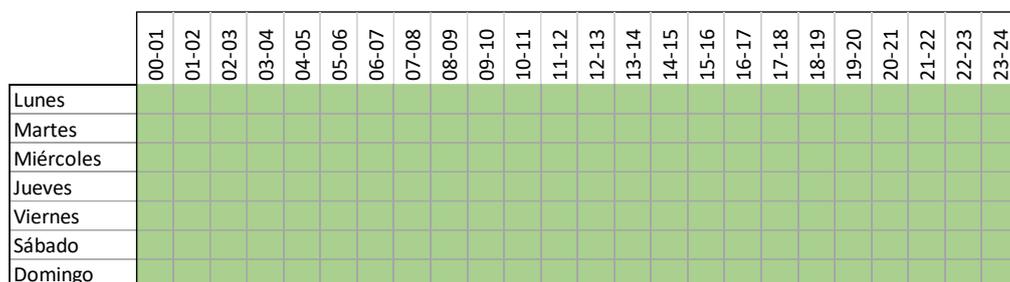


Figura 27. Disponibilidad plena de la batería

## 7.8 Interfaz del Usuario

Con el objetivo de facilitar la comunicación entre GRIDit y el cliente, se ha desarrollado una app móvil con la que interactuar y con la que el cliente recibirá todas las notificaciones necesarias para la correcta optimización de costes energéticos.

A través de esta aplicación, el cliente podrá conocer a tiempo real los flujos energéticos de su vivienda, así como trasiegos de energía. Además, al disponer de una BBDD donde se recoge toda la información procesada, se han desarrollado pantallas con las que se va a poder conocer el histórico de los consumos y el origen de los mismos.

Otra funcionalidad de la aplicación es la de permitir al cliente facilitar información sobre la disponibilidad del VE, así como su programación con varios días de antelación.

La siguiente imagen muestra la pantalla principal de la aplicación de GRIDit. En ella podemos observar los flujos energéticos actuales y cuáles de estos son autoconsumidos, es decir, aquella energía que no procede de la red.



Figura 28. Pantalla principal APP GRIDit

En la siguiente pantalla diseñada se representa el histórico de flujos energéticos, así como su origen y destino. En esta pantalla también podemos observar la cantidad de energía autoconsumida en el rango de fechas elegido.



Figura 29. Pantalla principal APP GRIDit

La siguiente pantalla muestra el estado de cada uno de los elementos instalados en la vivienda. Esta imagen en concreto muestra el estado de la batería. Podemos observar si se encuentra conectada a red, cargando o descargando, así como el estado de carga actual. También muestra un histórico en los que la batería ha sido cargada o descargada, y el destino de esa descarga.

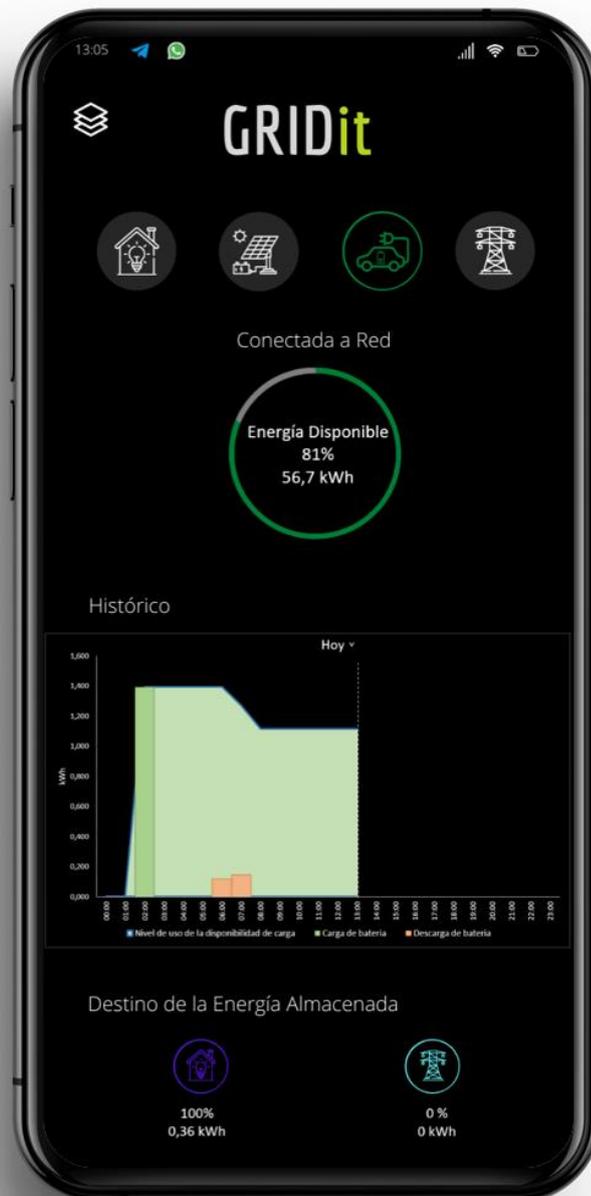


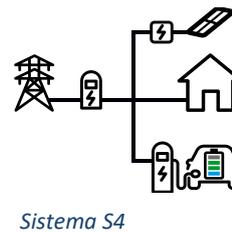
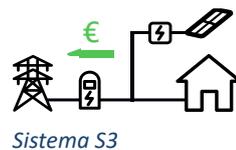
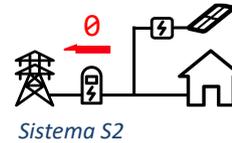
Figura 30. Pantalla principal APP GRIDit

## 7.9 Algoritmo de Optimización

El funcionamiento del programa de optimización requiere una cierta estandarización de las diferentes instalaciones que deberá procesar. Por ejemplo, el ahorro realizado por el sistema sobre una instalación de autoconsumo con excedentes será diferente a una misma instalación que no compense los excedentes. Por esta razón se ha decidido definir 4 tipologías de instalaciones y pasar los datos por un proceso de normalización.

- S1: sistema de instalación simple correspondiendo a una vivienda.
- S2: sistema correspondiendo a una vivienda con una instalación de autoconsumo que no esté acogida a la compensación de excedentes.

- S3: sistema correspondiendo a una vivienda con una instalación de autoconsumo que compensa los excedentes, sea a precio de mercado o mediante un acuerdo con la comercializadora.
- S4: Sistema incluyendo una instalación de fotovoltaica acogido a compensación y un vehículo eléctrico.

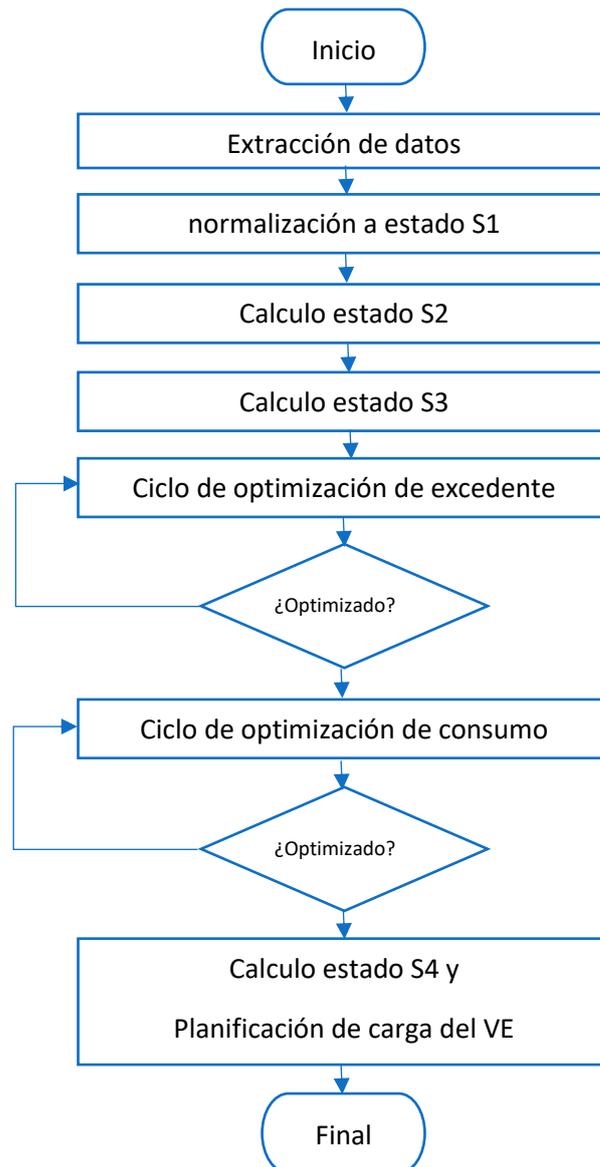


De esta forma, una vivienda que no tenga una instalación de autoconsumo se configura con una producción anual de fotovoltaica de 0kWh, y una vivienda sin excedentes se configura con un precio de excedente de 0,00€

Además, para no interferir con el consumo usual del vehículo eléctrico se considera como periodo de optimización un periodo de 24 horas.

Para poder calcular el óptimo económico y establecer el programa de carga que corresponda, el programa de optimización se descompone en diferentes etapas: en primer lugar procesa los datos de entrada necesarios, luego simula los posibles excedentes de generación fotovoltaico, aprovechando el sistema de almacenamiento traslada los diferentes consumos de la instalación hasta encontrar la combinación de flujos óptima, para finalmente establecer el programa de carga que se enviará al usuario o directamente al cargador según los protocolos predeterminados.

El diagrama de flujo siguiente, detalla el funcionamiento general del programa:



### 7.9.1 Entrada de datos

La primera etapa del algoritmo de optimización consiste en recuperar de la BBDD los diferentes datos de entradas necesarios para realizar el cálculo de optimización. Los datos se sitúan en dos fuentes diferentes según sean resultados de las previsiones de L día+1 o parámetros de ajustes de la instalación del usuario.

Para la entrada de datos de previsión se extraen de la base de datos los 4 perfiles horarios correspondiendo a las previsiones de funcionamiento del sistema al día siguiente (día+1):

- Perfil de consumo producción del sistema de autoconsumo.
- Perfil de consumo de la vivienda.
- Perfil de precio de la energía.
- Perfil de precio de los excedentes.

La extracción de los datos se realiza mediante un comando de lectura para luego cargarlos en la tabla de datos de entrada del programa de optimización.

Además de los datos de previsión, el programa deberá cargar los datos del sistema y de uso del cliente.

Datos del sistema:

- Rendimiento de carga y descarga, establecido a 95% en ambos casos.
- Impuesto eléctrico e IVA que se aplican sobre el precio de la energía consumida.

Datos del cliente:

- Generación anual de la instalación fotovoltaica, que se toma como valor de referencia para calibrar el programa de previsión de generación de producción.
- Potencia de la instalación, necesaria para limitar la cantidad de energía que el programa de optimización puede asignar al consumo de red en una hora.
- Potencia del cargador de vehículo eléctrico que se establece como límite de capacidad de carga o descarga durante una hora.
- Planificación de disponibilidad del vehículo eléctrico, que se establece mediante un patrón semanal y que el cliente puede modificar en la interfaz de la aplicación móvil.
- Capacidad de batería disponible para optimizar, limite definido por el usuario que sirve para indicar que capacidad de batería desea reserva para su uso del vehículo eléctrico.

El resultado de la extracción de datos de entrada del programa se resumen en la dos tabla siguientes:

| Datos de entrada sistema electrico |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Periodo horario                    | 00:00 | 01:00 | 02:00 | 03:00 | 04:00 | 05:00 | 06:00 | 07:00 | 17:00 | 18:00 | 19:00 | 20:00 | 21:00 | 22:00 | 23:00 |       |
| Produccion FV                      | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |       |
| Consumo vivienda                   | 0,093 | 0,082 | 0,241 | 0,105 | 0,039 | 0,107 | 0,000 | 0,000 | 0,042 | 0,057 | 0,320 | 0,066 | 0,442 | 1,151 | 1,054 | 0,372 |
| Precio Horario                     | 0,061 | 0,051 | 0,047 | 0,047 | 0,046 | 0,047 | 0,000 | 0,000 | 0,148 | 0,159 | 0,163 | 0,165 | 0,165 | 0,164 | 0,072 | 0,070 |
| Precio Excedente                   | 0,050 | 0,050 | 0,050 | 0,050 | 0,050 | 0,050 | 0,000 | 0,000 | 0,050 | 0,050 | 0,050 | 0,050 | 0,050 | 0,050 | 0,050 | 0,050 |
| Disponibilidad VE                  | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |

|                                 |          |                          |
|---------------------------------|----------|--------------------------|
| Generacion anual FV             | 2000 kWh | prm_produccion_anual     |
| Potencia contratada instalacion | 3,70 kW  | prm_potencia_instalacion |
| Potencia max cargador VE        | 3,70 kW  | prm_potencia_cargador    |
| Rendimiento carga VE            | 95,0%    | prm_rendimiento_carga    |
| Rendimiento descarga VE         | 95,0%    | prm_rendimiento_descarga |
| Capacidad para optimizar        | 5,00 kWh | prm_capacidad_bateria    |
| Impuesto Electrico              | 5,11%    | prm_imp_elec             |
| Impuesto Valor añadido          | 21,00%   | prm_imp_IVA              |

Tabla 12. Datos de entrada al modelo

### 7.9.2 Normalización a S1

El análisis empieza por calcular cual será el autoconsumo hora a hora del día siguiente de la vivienda a partir del perfil de predicción de generación extraído de la BBDD.

Si la vivienda estuviese equipada con un sistema de autoconsumo se procede a normalizar la previsión del consumo sumando la energía contabilizada por el contador de red y la energía autoconsumida procedente de la instalación de autoconsumo, y restando los excedentes de la instalación de autoconsumo. Este proceso de normalización se realiza para cada periodo horario del día siguiente.

Para todas las horas  $i$  del día siguiente:

$$CV_{S1_i} = CC_i + Pfv_i - Ex_i$$

Con:

$CV_{S1_i}$ : Consumo de vivienda normalizado

$CC_i$ : Consumo previsto al contador

$Pfv_i$ : Producción prevista del sistema de fotovoltaico

$Ex_i$ : Excedente a RED previsto

Después de la normalización el programa devuelve los consumos previstos de la vivienda, así como el precio horario del kWh y la resultante del coste de energía para cada hora.

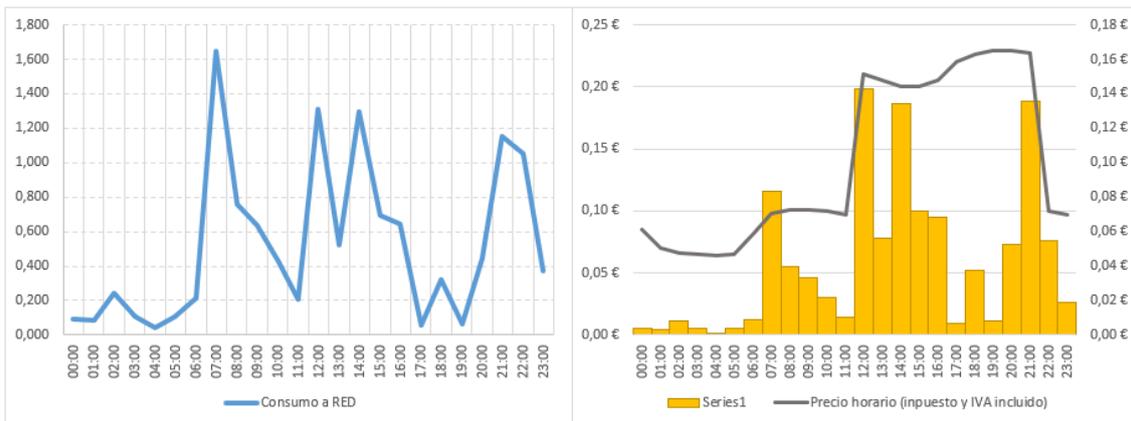


Figura 31. Consumos y precios horarios del sistema S1

El coste de referencia para el sistema S1 se calcula sumando los costes de consumo de energía normalizado para cada hora.

$$Cost_{S1} = \sum_{i=1}^{24} CV_{S1_i} * Cost_{kWh_i}$$

Con:

$Cost_{kWh_i}$ : Precio de la energía a la hora  $i$

$Cost_{S1}$ : Coste total de energía durante el día para la instalación S1

### 7.9.3 Cálculo estado S2: integración fotovoltaica

A continuación, el programa calcula el estado S2 del sistema, incluyendo la producción de la instalación fotovoltaica.

Se consideran dos casos distintos: si la producción fotovoltaica es superior al consumo de la vivienda el consumo a red será nulo; en el caso contrario será equivalente a la resta entre la producción fotovoltaica y el consumo de la vivienda.

Se calcula el nuevo consumo a la red  $CV\_S2_i$  de la forma siguiente:

$$\begin{aligned} \text{if } CV\_S1_i > Pfv_i \quad & CV\_S2_i = CV\_S1_i - Pfv_i \\ \text{else} \quad & CV\_S2_i = 0 \end{aligned}$$

El programa devuelve entonces los consumos previstos de la vivienda, el nuevo perfil de consumo a red, así como el precio horario del kWh y el coste de energía para cada hora:

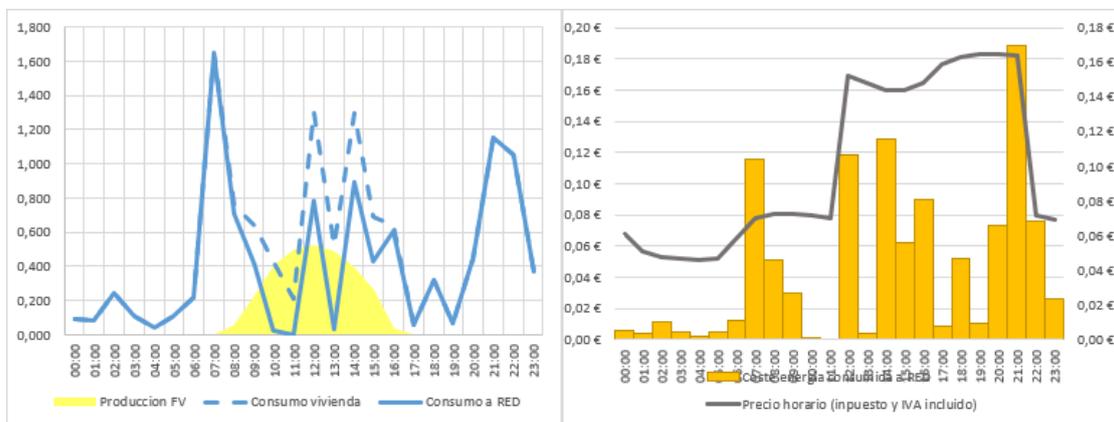


Figura 32. Consumos y precios horarios del sistema S2

$$Cost_{S2} = \sum_{i=1}^{24} CV\_S2_i * Cost\_kWh_i$$

Con:

$Cost_{S2}$ : Coste total de energía durante el día para la instalación S2

### 7.9.4 Cálculo estado S3: integración fotovoltaica y excedentes

Para calcular los excedentes reinyectados a la red, se consideran dos casos distintos: si la producción fotovoltaica es superior al consumo de la vivienda, los excedentes serán iguales a la resta entre la producción fotovoltaica y el consumo de la vivienda y en este caso el consumo a red será nulo; en el caso contrario los excedentes serán considerados nulos.

Para todas las horas  $i$  del día siguiente:

$$\begin{aligned} \text{if } Pfv_i > CV\_S2_i \quad & Ex_i = Pfv_i - CV\_S2_i \\ \text{else} \quad & Ex_i = 0 \end{aligned}$$

El programa devuelve entonces el estado del sistema incluyendo la parte de excedentes de producción que se reenvían a la red.

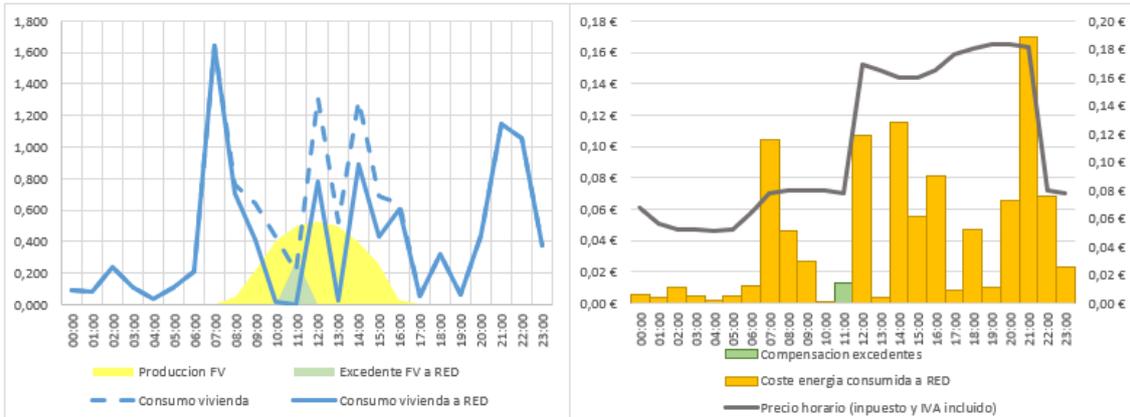


Figura 33. Consumos y precios horarios del sistema S3

Para el cálculo del coste de energía para este día se restarán la compensación económica acordada por los excedentes.

$$Cost_{S3} = \sum_{i=1}^{24} CV_{S2_i} * Cost_{kWh_i} - \sum_{i=1}^{24} Ex_i * Cost_{Ex\_kWh_i}$$

Con:

$Cost_{S3}$ : Coste total de energía durante el día para la instalación S3

$Cost_{Ex\_kWh_i}$ : Precio de compensación de excedente a la hora  $i$

### 7.9.5 Cálculo S4: Optimización de los excedentes

Desde el punto de vista económico, debido al precio de compensación de excedentes, es más interesante consumir los excedentes en la vivienda que reinyectarlos a red. La siguiente etapa del programa está destinada a intentar aprovechar los excedentes calculados en el paso anterior.

Para realizar la optimización, el programa va a identificar el registro horario en el cual existen excedentes y el registro horario posterior que tenga el mayor coste de energía.

Comprobará si la cantidad de energía a transferir cumple las limitaciones técnicas de la instalación, y en caso de no cumplirlas reajusta la cantidad de energía a transferir.

A continuación, se detallan las fórmulas de cálculo de las limitaciones técnicas de los flujos de energía, entre la hora  $i$  a la cual se prevé cargar los excedentes en la batería y la hora  $j$  a la cual se prevé descargar la parte explotable los excedentes considerando los rendimientos de carga y descarga.

- Energía descargable a la hora  $j$ , es la cantidad de energía que consume la instalación a la hora  $j$ , corresponde a la cantidad de energía que se podría suministrar con los excedentes.

$$Enrg_{descargable} = CV_{S4}x_j$$

- Energía excedentaria, es la cantidad de energía excedentaria que se podría aprovechar a la hora  $j$  considerando los rendimientos de carga y descarga.

$$Enrg_{excedentaria} = Ex_i * rend_{carga} * rend_{descarga}$$

- Energía cargable por instalación, es la cantidad de energía que se podría cargar en otro periodo para no exceder la potencia máxima de la instalación (protección sobrecarga ICP) considerando los rendimientos de carga y descarga.

$$Enrg_{cargable} = (Pot_{instalacion} - CV_{S4}x_i) * rend_{carga} * rend_{descarga}$$

- Energía cargable por cargador VE, es la cantidad de energía que se podría cargar en otro periodo para no exceder la potencia nominal del cargador de batería considerando los rendimientos de carga y descarga.

$$Enrg_{cargable_{VE}} = Pot_{cargador} * rend_{carga} * rend_{descarga}$$

- Energía transferible por límite de capacidad de batería, es la cantidad de energía que se podría transferir entre la hora  $i$  y la hora  $j$  considerando que la batería debe disponer de la capacidad suficiente disponible entre las dos horas.

$$Enrg_{transferible} = (Cap_{bateria} - Max(Cap_{ocupada_{ij}})) * rend_{descarga}$$

- Energía transferida, es la cantidad de energía que se transfiere entre la hora  $i$  y la hora  $j$  considerando las limitaciones técnicas anteriormente calculadas.

$Enrg_{transferida}$

$$= \text{Min}(Enrg_{descargable}; Enrg_{excedentaria}; Enrg_{cargable}; Enrg_{cargable_{VE}}; Enrg_{transferible})$$

Con:

$CV_{S4}x_j$ : Consumo previsto, antes del ciclo, a la hora de la descarga.

$Ex_i$ : Cantidad de energía excedentaria disponible para la optimización a la hora de la carga.

$rend_{carga}$ : Rendimiento de carga del cargador VE.

$rend_{descarga}$ : Rendimiento de carga del cargador VE.

$CV_{S4x_i}$ : Consumo previsto, antes del ciclo, a la hora de la carga.

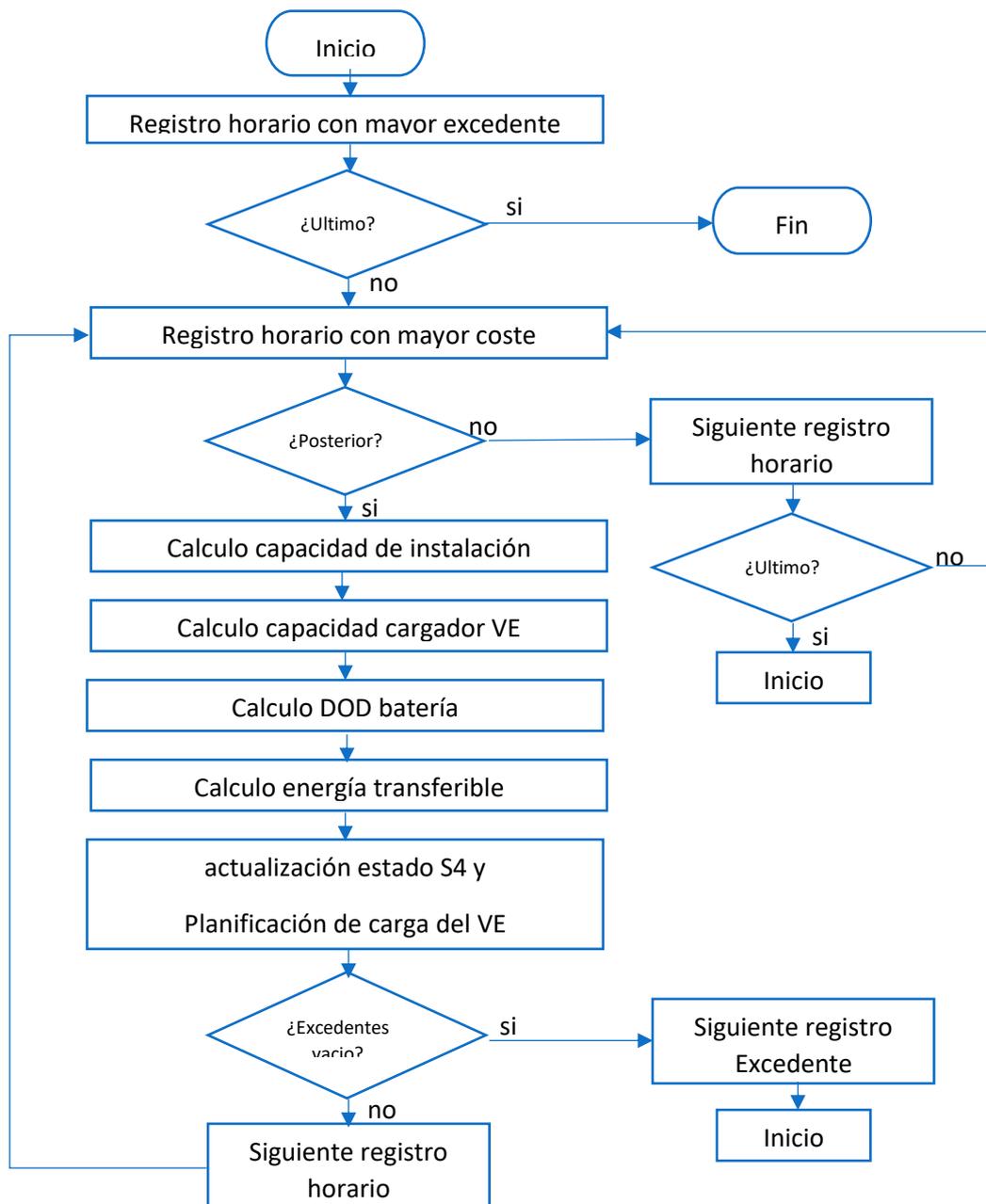
$Pot_{instalacion}$ : Potencia contratada de la instalacion en kW

$Pot_{cargador}$ : Potencia del cargador de bateria del VE

$Cap_{bateria}$ : Capacidad de bateria que el ususario decide poner a disposicion del sistema.

$Cap_{ocupada}$ : Capacidad de bateria actualmente ocupada por el sistema entre dos horas.

El programa de optimización repite el ciclo de gestión de los excedentes hasta que se agoten las soluciones aceptables para la transferencia de energía, el diagrama de flujo a continuación indica el funcionamiento del módulo de optimización de excedente.



Al final de cada ciclo de optimización el programa recalcula el coste de energía de la instalación con la misma fórmula que para el sistema S3:

$$Cost_{S4} = \sum_{i=1}^{24} CV_{S4_i} * Cost_{kWh_i} - \sum_{i=1}^{24} Ex_i * Cost_{Ex\_kWh_i}$$

Con:

$Cost_{S4}$ : Coste total de energía durante el día para la instalación S4

$Cost_{Ex\_kWh_i}$ : Precio de compensación de excedente a la hora  $i$

El programa devuelve entonces el estado del sistema incluyendo el programa de carga de la batería. Podemos observar en el ejemplo que el algoritmo ha realizado un ciclo que transfiere los 290 Wh de energía excedentaria producidas a las 11:00 de la mañana hasta la hora de mayor coste de energía, las 20:00, y que considerando los rendimientos de carga y descarga de la batería (95%) la energía útil para consumo es 262 Wh.

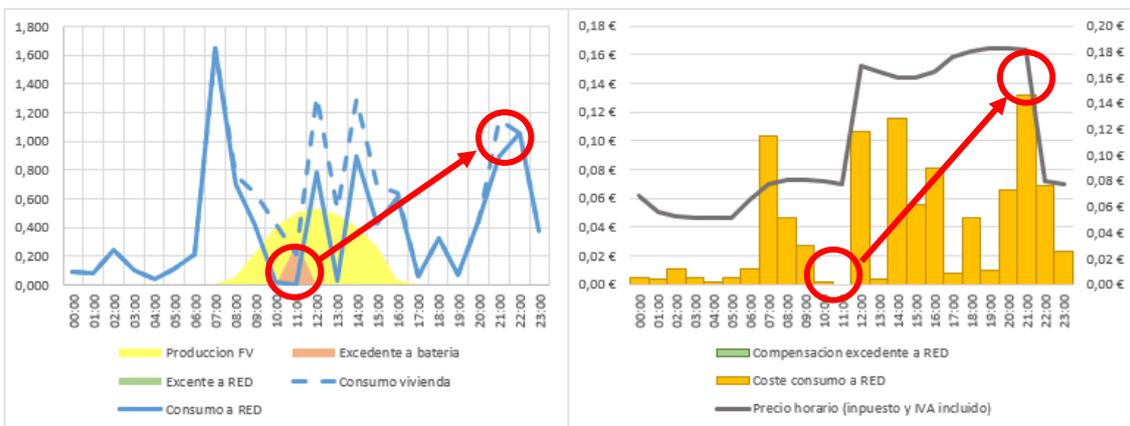
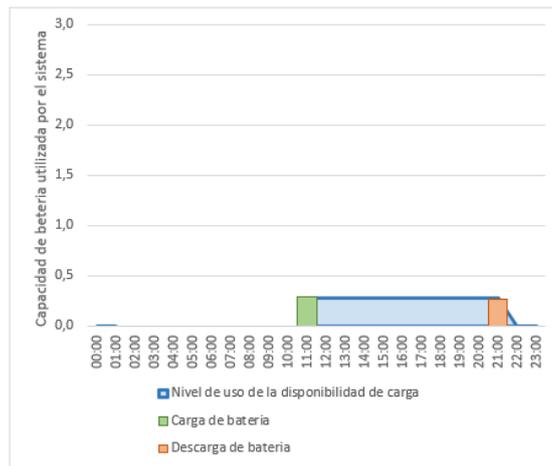


Figura 34. Consumos y precios horarios del sistema S3

```

III - cálculo de la cantidad de energía que se puede transferir, es la menor de:
- La cantidad de energía consumida en el periodo de descarga.
- La cantidad de energía excedentaria en el periodo de carga.
- La potencia de la instalación (kW por una hora) menos la energía consumida en el periodo
de carga / el rendimiento de carga / rendimiento de descarga.
- La potencia Máxima cargable por el cargador de VE / el rendimiento de carga / rendimiento
de descarga.
- La disponibilidad de la batería debe de ser superior a la cantidad de energía consumida
en el periodo de descarga / el rendimiento de descarga sobre todos los periodos entre la
carga y la descarga.

' III.1 - Calcular la cantidad de energía consumida a RED en este periodo.
var_energia_consumida = rng_datos_optimizado.Cells(2, ind_descarga)

' III.2 - Calcular la cantidad de energía excedentaria en este periodo que se pueda transferir.
var_energia_excedentaria = rng_datos_optimizado.Cells(3, ind_carga) * prm_rendimiento_carga *
    prm_rendimiento_descarga

' III.3 - energía cargable en el periodo de carga por no generar sobrecoste de potencia
(incluyendo los rendimientos porque se considera energía descargada)
var_energia_cargable_instalacion = (prm_potencia_instalacion - rng_datos_optimizado.Cells(2,
    ind_carga)) * prm_rendimiento_carga * prm_rendimiento_descarga

' III.4 - energía cargable en el periodo de carga por el cargador VE (incluyendo los rendimientos
porque se considera energía descargada)
var_energia_cargable_cargadorVE = prm_potencia_cargador * prm_rendimiento_carga *
    prm_rendimiento_descarga

' III.5 - energía cargable en el periodo de carga por el cargador VE (incluyendo el rendimiento de
descarga porque se considera energía descargada)
var_energia_transferible = (prm_capacidad_bateria -
WorksheetFunction.Max(Range(rng_datos_optimizado.Cells(6, ind_carga),
    rng_datos_optimizado.Cells(6, ind_descarga)))) * prm_rendimiento_descarga

' III.6 - Calcular la cantidad de energía a transferir
var_energia_transferida = WorksheetFunction.Min(var_energia_transferible,
    var_energia_cargable_cargadorVE, var_energia_cargable_instalacion, var_energia_excedentaria,
    var_energia_consumida)
    
```

Extracto del Código de optimización, cálculo de limitación técnica de los flujos de energía

## 7.9.6 Cálculo S4: Optimización del consumo

Una vez todos los excedentes aprovechables por el sistema hayan sido reasignados a consumos posteriores, el algoritmo intentará reducir el coste total de la energía consumida durante el día transfiriendo el consumo en hora punta a horas valle.

Para realizar la optimización, el programa va a identificar el registro horario con el mayor coste de energía y el registro horario anterior con menor coste de energía.

A continuación, comprueba si la cantidad de energía a transferir cumple las limitaciones técnicas de la instalación, y en caso de no cumplirlas reajusta la cantidad de energía a transferir y procede a actualizar el estado del sistema y el programa de carga de la batería.

El párrafo siguiente detalla las fórmulas de cálculo de las limitaciones técnicas de los flujos de energía, entre la hora  $i$ , hora valle, a la cual se prevé cargar el consumo en la batería y la hora  $j$ , hora punta, considerando los rendimientos de carga y descarga.

- Energía consumida, es la cantidad de energía que consume la instalación a la hora  $j$ . Corresponde a la cantidad de energía que se podría suministrar con la energía almacenada en la batería.

$$Enrg_{consumida} = CV_{S4}x_j$$

- Energía cargable por instalación, es la cantidad de energía que se podría cargar en otro periodo sin exceder la potencia máxima de la instalación (protección sobrecarga ICP) considerando los rendimientos de carga y descarga.

$$Enrg_{cargable} = (Pot_{instalacion} - CV_{S4}x_i) * rend_{carga} * rend_{descarga}$$

- Energía cargable por cargador VE, es la cantidad de energía que se podría cargar en otro periodo para no exceder la potencia nominal del cargador de batería considerando los rendimientos de carga y descarga.

$$Enrg_{cargable_{VE}} = Pot_{cargador} * rend_{carga} * rend_{descarga}$$

- Energía transferible por límite de capacidad de batería, es la cantidad de energía que se podría transferir entre la hora  $i$  y la hora  $j$  considerando que la batería debe disponer de la capacidad suficiente disponible entre las dos horas.

$$Enrg_{transferible} = (Cap_{bateria} - Max(Cap_{ocupada_{ij}})) * rend_{descarga}$$

- Energía transferida, es la cantidad de energía que se transfiere entre la hora  $i$  y la hora  $j$  considerando las limitaciones técnicas anteriormente calculadas.

$$Enrg_{transferida} = Min(Enrg_{consumida} ; Enrg_{cargable} ; Enrg_{cargable_{VE}} ; Enrg_{transferible})$$

Al final de cada ciclo de optimización el programa recalcula el coste de energía de la instalación con la misma fórmula que para el sistema s3:

$$Cost_{s4} = \sum_{i=1}^{24} CV_{S4}_i * Cost_{kWh}_i - \sum_{i=1}^{24} Ex_i * Cost_{Ex\_kWh}_i$$

El algoritmo repite el ciclo optimización hasta que el coste de energía calculado sea superior al coste del ciclo anterior. El último ciclo se considera como el óptimo y el programa devuelve el programa de carga calculado.

El algoritmo reduce progresivamente el coste total de la energía consumida por la instalación. El número de ciclos necesarios para alcanzar el óptimo suele oscilar entre 15 y 40, lo que dificulta la visualización del proceso completo. A modo de ejemplo, se presenta a continuación los dos primeros ciclos del caso actual.

En el primer ciclo transfiere 889Wh consumidos a 21:00 hasta las 4:00, reservando 936Wh de batería.

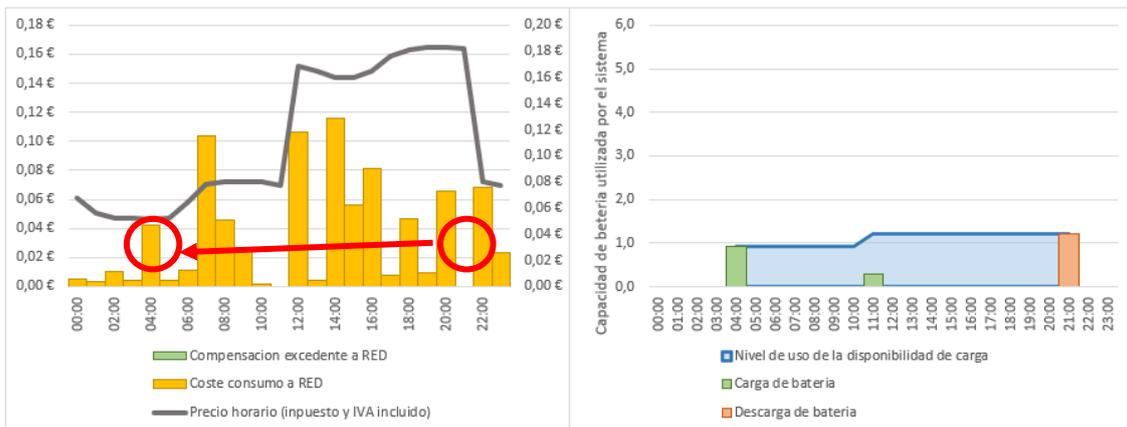


Figura 35. Ciclo 1 del caso actual

En el segundo ciclo se transfiere 442 Wh consumidos a 21:00 hasta las 4:00, reservando 465 Wh de batería.

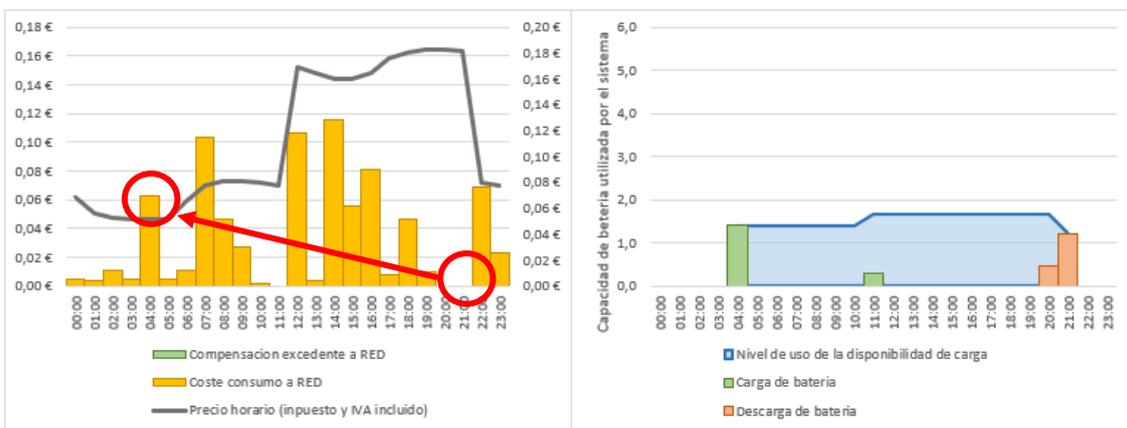


Figura 36. Ciclo 2 del caso actual

A medida que se repiten los ciclos de optimización, el programa transfiere los consumos en horas punta a periodos valle.

El gasto inicial de energía para este día era de 1,08€/día y el programa ha conseguido encontrar una solución que lo reduce a 0.57€/día (46%), utilizando únicamente 5 kWh de capacidad de batería.

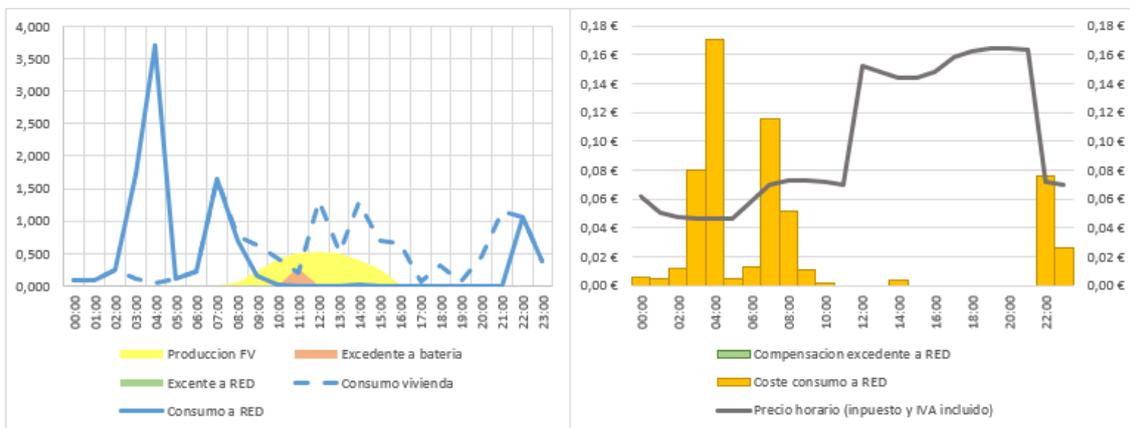
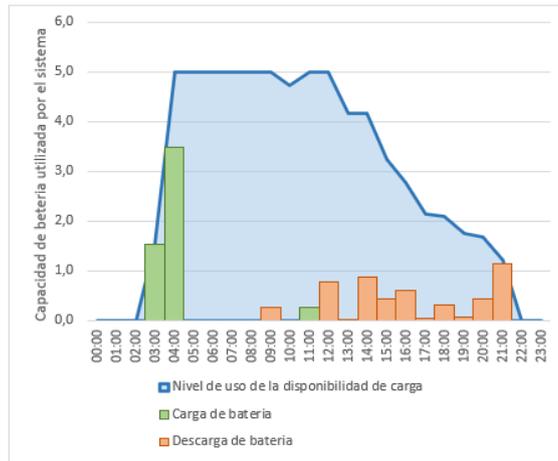
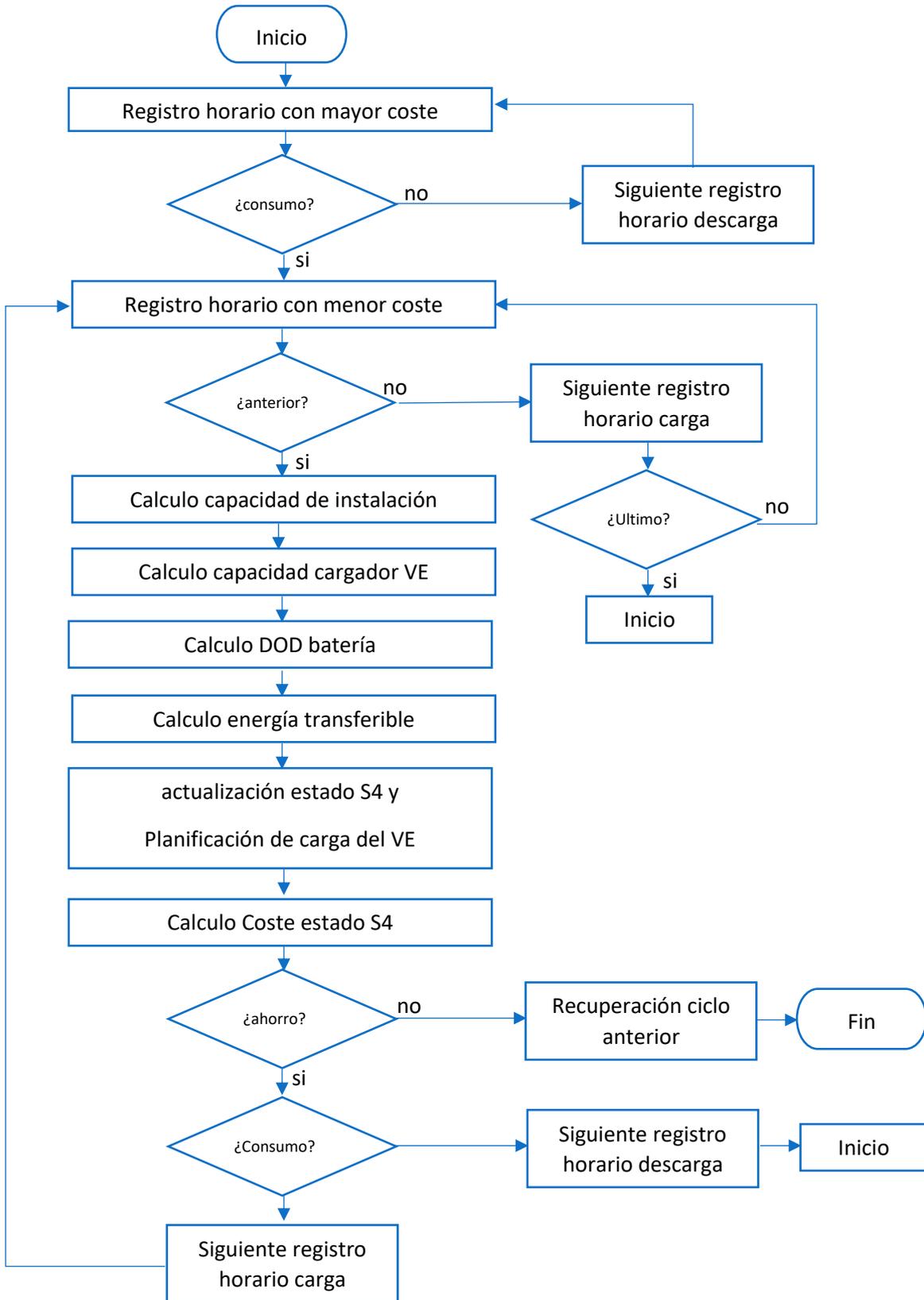


Figura 37. Consumos y precios horarios del sistema S3

El diagrama de flujo siguiente indica el funcionamiento del módulo búsqueda del óptimo económico.



### 7.9.7 Optimo económico y programa de carga

El algoritmo de optimización devuelve un programa de carga que corresponde a la configuración de consumo con menor coste según las previsiones de producción, precios y consumo y que cumple con los parámetros técnicos de la instalación y los ajustes de uso del vehículo que ha definido el usuario.

El programa de carga se enviará, a través de una notificación, a la aplicación para que el usuario este informado de cuál es la mejor estrategia de utilización de su vehículo para el día siguiente. En caso de que el cargador disponga de un protocolo de comunicación normalizado, como OCCP, se transferirá automáticamente el programa para que realice la gestión de cargas y descargas de la batería.

Según la configuración inicial de la instalación del usuario, se calculará el ahorro realizado por el algoritmo de la forma siguiente:

- Si el cliente no dispone de una instalación fotovoltaica.

$$Ahorro_{neto} = Cost_{S1} - Cost_{S4}$$

$$Ahorro_{\%} = \frac{Cost_{S1} - Cost_{S4}}{Cost_{S1}}$$

- Si el cliente dispone de una instalación fotovoltaica y no compensa los excedentes.

$$Ahorro_{neto} = Cost_{S2} - Cost_{S4}$$

$$Ahorro_{\%} = \frac{Cost_{S2} - Cost_{S4}}{Cost_S}$$

- Si el cliente dispone de una instalación fotovoltaica y compensa los excedentes.

$$Ahorro_{neto} = Cost_{S3} - Cost_{S4}$$

$$Ahorro_{\%} = \frac{Cost_{S3} - Cost_{S4}}{Cost_{S3}}$$

## 8 Programa de simulación

El modelo descrito en el capítulo anterior permite optimizar el coste de las instalaciones, y para determinar su sensibilidad a los diferentes parámetros del sistema, se procede a analizar e identificar dichos parámetros para luego definir el rango que maximiza los resultados.

Tras analizar el modelo se ha podido establecer la lista de los parámetros que pueden afectar al consumo de las viviendas. En los capítulos siguientes se analizará el impacto de estos sobre el ahorro realizado:

- Disponibilidad del vehículo eléctrico.
- Capacidad de batería asignada a la optimización del coste.
- Generación de energía por el sistema fotovoltaico.
- Consumo anual de la vivienda.
- Consumo diario de la vivienda

El objetivo de la simulación será analizar el comportamiento del modelo a lo largo de un año para poder determinar los factores que más influyen sobre el sistema y poder determinar los ahorros en el término de energía de las facturas.

La simulación anual se realiza sobre el periodo de tiempo desde el 1 de enero 2019 hasta el 31 de diciembre del mismo año sobre el consumo de dos viviendas reales. Se utilizarán los precios históricos del mercado eléctrico, los precios de las tarifas eléctricas del PVPC, así como las mediciones de radiación de la red EARM para simular la producción de las instalaciones fotovoltaicas.

### 8.1 Datos de entrada a la simulación

#### 8.1.1 Curva de consumos domésticos

Las especificaciones de las viviendas para las cuales hemos obtenido los datos de consumo se describen a continuación:

##### Vivienda numero 1:

- Consumo anual: 4350 kWh
- Coste anual energía: 360,77 €
- Potencia contrata: 3,7 kW
- Numero de ocupante: 4
- localización: Umbrete, Sevilla
- Tipo de vivienda: Unifamiliar de una planta
- Superficie: 150 m<sup>2</sup>

##### Vivienda numero 2:

- Consumo anual: 3650 kWh
- Coste anual energía: 360,77 €
- Potencia contrata: 3,3 kW
- Numero de ocupante: 3
- localización: Sevilla, Sevilla
- Tipo de vivienda: piso
- Superficie: 90 m<sup>2</sup>

Los datos de consumo se han conseguido mediante consulta a la distribuidora con permiso previo de los titulares del contrato de suministro.

### 8.1.2 Producción fotovoltaica

La cantidad de energía que puede generar una instalación fotovoltaica depende principalmente, a parte de los factores técnicos de la instalación, de los factores climatológicos en el momento de la producción.

Siempre que sea posible, se va a proceder a lecturas meteorológicas, sin embargo, en determinados casos va a ser necesario emplear modelos de previsión para los cuales se emplea la longitud y la latitud del lugar. Los resultados de estos modelos no simulan el efecto de la nubosidad sobre la producción, y por tanto no tienen la misma fiabilidad que las lecturas procedentes de estaciones meteorológicas.

La junta de Andalucía cuenta con una serie de redes de observación de las condiciones meteorológicas, entre las cuales está la red de estaciones automáticas EARM<sup>10</sup>. Dentro de los datos históricos de EARM, accesibles online, se encuentran las lecturas de los piranómetros, que da en kW/m<sup>2</sup> una lectura de la radiación solar horizontal global. A partir de estas medidas estimar una representación fiable de la producción fotovoltaica, incluyendo el patrón de nubosidad horario.

Para las dos viviendas se crea el histórico de producción horario de la forma siguiente:

- Selección de la estación de la red EARM más cercana.
- Limpieza de datos (lectura incoherente, días sin datos...).
- Ajuste del patrón considerando la inclinación y la orientación de las placas, (véase capítulo 7.3 Predicción del recurso solar)
- Normalización a uno de la serie anual.
- Multiplicación del patrón por la producción anual de la instalación en kWh.

De esta forma obtenemos una serie histórica de producción solar basada en lecturas meteorológica reales.

<sup>10</sup> [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/sica/redes/redEspecificajsp?c\\_red=EARM](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/sica/redes/redEspecificajsp?c_red=EARM)

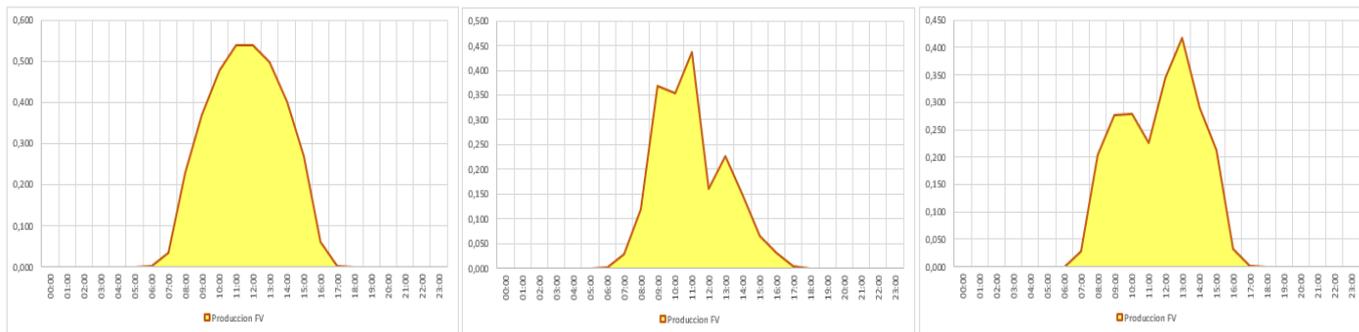


Figura 38. Simulación FV obtenido del modelo

### 8.1.3 Precio de compra y venta de energía

Los datos históricos de precio de energía y de excedentes, a diferencia se los datos de producción se pueden conseguir de forma exacta extrayéndolos del registro histórico de la plataforma ESIOS y OMIE.

Un ajuste del programa de lectura de precio, descrito en el capítulo 7.5 y 7.6, referentes al precio de compra y venta de la energía, permite extraer los histórico de estos valores para cualquier periodo de tiempo estudiado. La siguiente imagen muestra la pantalla que permite la extracción del histórico de precios.



Figura 39. Histórico de precios de la plataforma ESIOS

De esta forma obtenemos las dos series de 8760 entradas correspondiendo al precio de la energía horaria y de los excedentes para el año 2019.

## 8.2 configuración de los parámetros de la simulación

### 8.2.1 Estudio preliminar de los parámetros

El análisis del comportamiento de un programa de simulación requiere definir el rango y el paso de cada uno de los parámetros. Para ello, hemos realizado una primera de serie de simulación haciendo variar los parámetros de forma aleatorio para detectar posibles correlaciones entre los parámetros y determinar el rango en el cual tienen efecto sobre el ahorro realizado sobre cada instalación.

El primer análisis nos ha permitido interpretar el comportamiento temporal de las instalaciones, por ejemplo en las graficas siguientes, se puede observar que el ahorro neto (a la izquierda) sigue una tendencia estacional, sin embargo, si observamos el ratio entre el ahorro y el consumo, esta tendencia se reduce y revierte ligeramente.

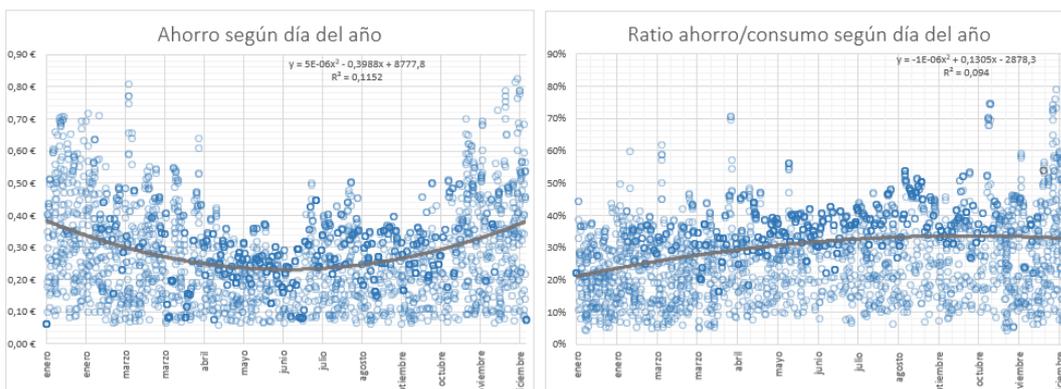


Figura 40. Ahorro neto con la simulación

El análisis preliminar ha permitido también detectar una fuerte correlación entre el ahorro realizado por el algoritmo y la capacidad de batería necesaria para alcanzar el óptimo económico. Además, se puede observar que la disponibilidad del vehículo influye sobre la dispersión. El grafico de la izquierda representa una disponibilidad correspondiendo a una jornada partida, mientras que el de la derecha representa una batería estacionaria.

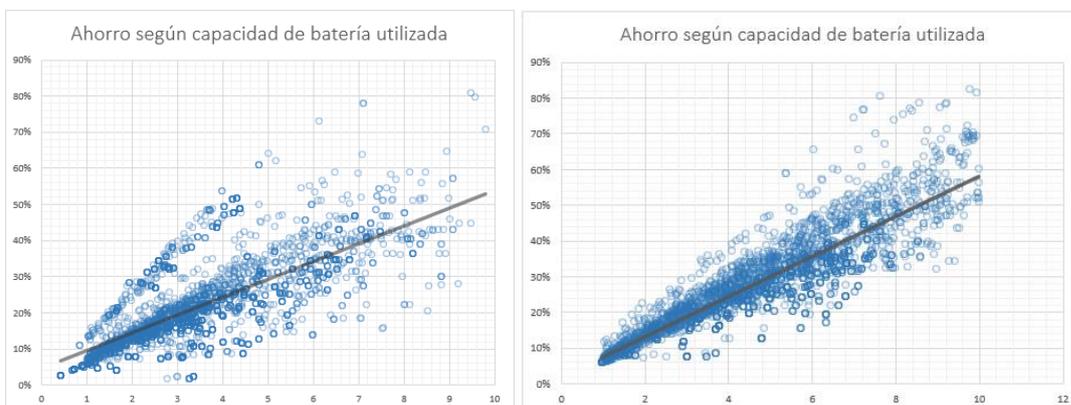


Figura 41. Ahorro vs Capacidad de batería empleada

### 8.2.2 Rangos de los parámetros

Los resultados del análisis previo nos permiten definir los rangos de los 3 parámetros más significativos que aplicaremos a ambas instalaciones, cuyos datos históricos de consumo disponemos:

La capacidad de batería dedicada a la optimización del sistema, cuyo rango ente 2 y 14 kWh se dividirá entre 5 segmentos de la forma siguiente.

- 2 kWh, 5 kWh, 8 kWh, 11 kWh y 14 kWh.

La generación fotovoltaica aportada por la instalación de autoconsumo, cuyo rango ente 0 y 3000 kWh anual, cubre los casos desde una instalación sin autoconsumo y una instalación sobredimensionada, se dividirá entre 5 segmentos de la forma siguiente.

- 0, 500, 1000, 1500, 2000 y 2500 kWh/año

La disponibilidad del vehículo eléctrico, cuya conexión al sistema se simula con 4 programas semanales correspondiendo a los usos siguientes (Vistos en el apartado 7.7 Disponibilidad del Vehículo Eléctrico):

- Jornada laboral partida
- Jornada laboral continua.
- Jornada partida con 2 días de teletrabajo.
- Disponibilidad completa simulando una batería estacionaria.

Una vez definidos los rangos de parámetros, el programa realiza la serie de 87.000 simulaciones de optimización, cuyos resultados se analiza a continuación.

### 8.2.3 Resultado Capacidad de batería

Los gráficos de violín siguientes, muestran el comportamiento del sistema según la capacidad de batería dedicada a la optimización del coste de la energía para las dos instalaciones. Se puede observar que, en ambos casa a partir de 8 kWh dedicado, el incremento del ahorro no es significativo.

El ajuste para este parámetro es entonces de 8 kWh de batería dedicada, el ahorro medio entonces realizar es de 24.9%.

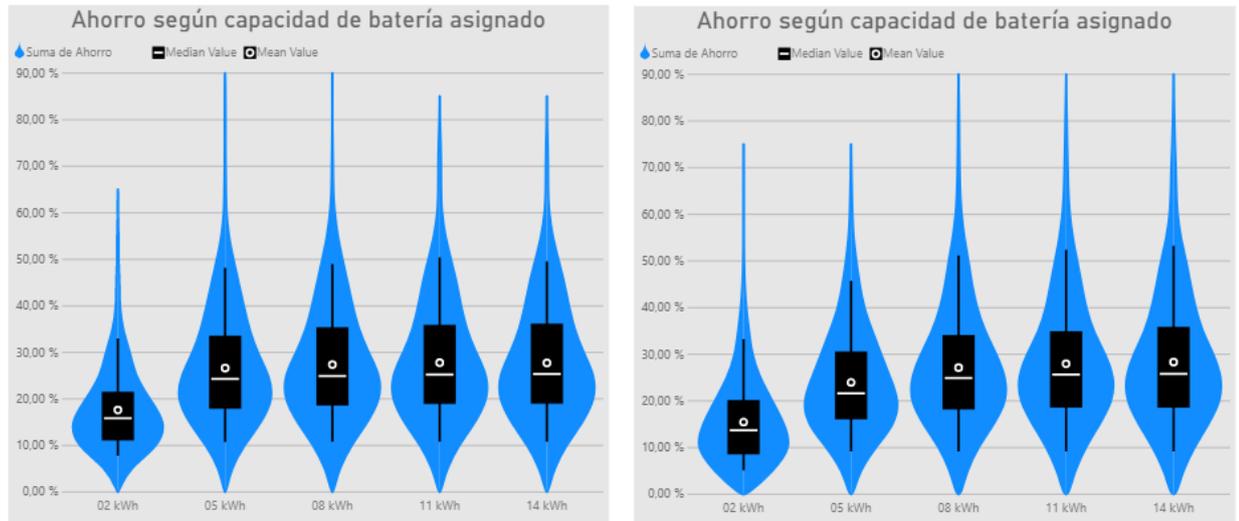


Figura 42. Ahorro según capacidad de batería

|           | Instalación 1 |        |        |        |        | Instalación 2 |        |        |        |        |
|-----------|---------------|--------|--------|--------|--------|---------------|--------|--------|--------|--------|
| Capacidad | 02 kWh        | 05 kWh | 08 kWh | 11 kWh | 14 kWh | 02 kWh        | 05 kWh | 08 kWh | 11 kWh | 14 kWh |
| Median %  | 15,8          | 24,3   | 24,9   | 25,2   | 25,4   | 13,7          | 21,6   | 24,3   | 25,7   | 25,8   |
| Mean %    | 17,6          | 26,6   | 27,4   | 27,8   | 27,7   | 15,5          | 24,0   | 26,0   | 28,0   | 28,3   |
| Std dev % | 8,5           | 12,1   | 11,3   | 12,5   | 12,4   | 9,0           | 11,1   | 11,4   | 13,5   | 13,8   |

Tabla 13. Ahorro según capacidad de batería

### 8.2.4 Resultado de generación

Para determinar el impacto de la generación fotovoltaica sobre el algoritmo de optimización de coste, se configuran las dos instalaciones con la misma capacidad de batería (8 kWh) y se procede a hacer variar la capacidad anual de producción.

Observamos que hasta 1.500 kWh, el programa es capaz de encontrar soluciones que permite ahorra de entre 23 y 27%, en ambas instalaciones

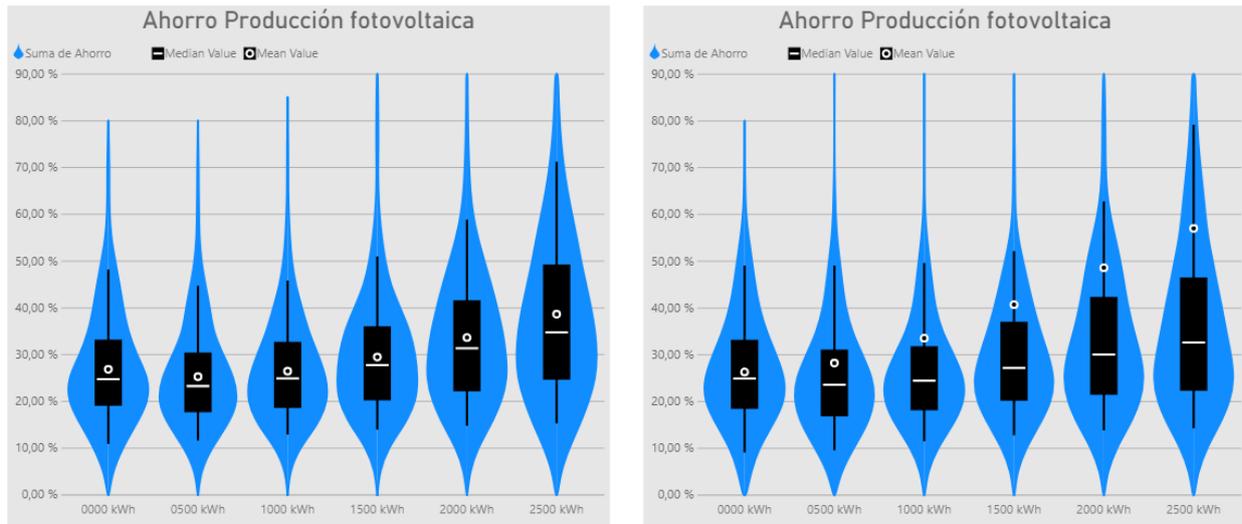


Figura 43. Ahorro según producción fotovoltaica

|            | Instalación 1 |      |      |      |      |      | Instalación 2 |      |      |       |       |       |
|------------|---------------|------|------|------|------|------|---------------|------|------|-------|-------|-------|
| Produccion | 0             | 500  | 1000 | 1500 | 2000 | 2500 | 0             | 500  | 1000 | 1500  | 200   | 2500  |
| Median %   | 24,9          | 23,3 | 24,9 | 27,8 | 31,4 | 34,8 | 24,3          | 23,6 | 24,5 | 27,2  | 30,1  | 32,6  |
| Mean %     | 27,4          | 25,3 | 26,5 | 29,4 | 33,6 | 38,6 | 26,0          | 28,2 | 33,5 | 40,7  | 48,6  | 57,0  |
| Std dev %  | 11,3          | 10,6 | 10,6 | 12,4 | 15,7 | 19,9 | 11,4          | 33,6 | 66,9 | 100,1 | 135,0 | 149,5 |

Tabla 14. Ahorro según producción fotovoltaica

### 8.2.5 Resultado de disponibilidad del sistema de almacenamiento

La disponibilidad del vehículo eléctrico para la optimización es fundamental, ya que sin batería en el sistema, el programa no puede desplazar la energía consumida al periodo pico. Se determina el impacto de este parámetro configurando las dos instalaciones con distintos patrones de disponibilidad semanal del vehículo.

Se observa que con los 3 patrones de uso normal del vehículo se obtienen resultados similares entre 23 y 29%. Solo el patrón de batería estacionaria destaca y permite ahorro de hasta 37%.

En sí, el resultado parece lógico ya que habitualmente se producen los mayores consumos de electricidad cuando el usuario está en la vivienda y por lo tanto, el vehículo está conectado.

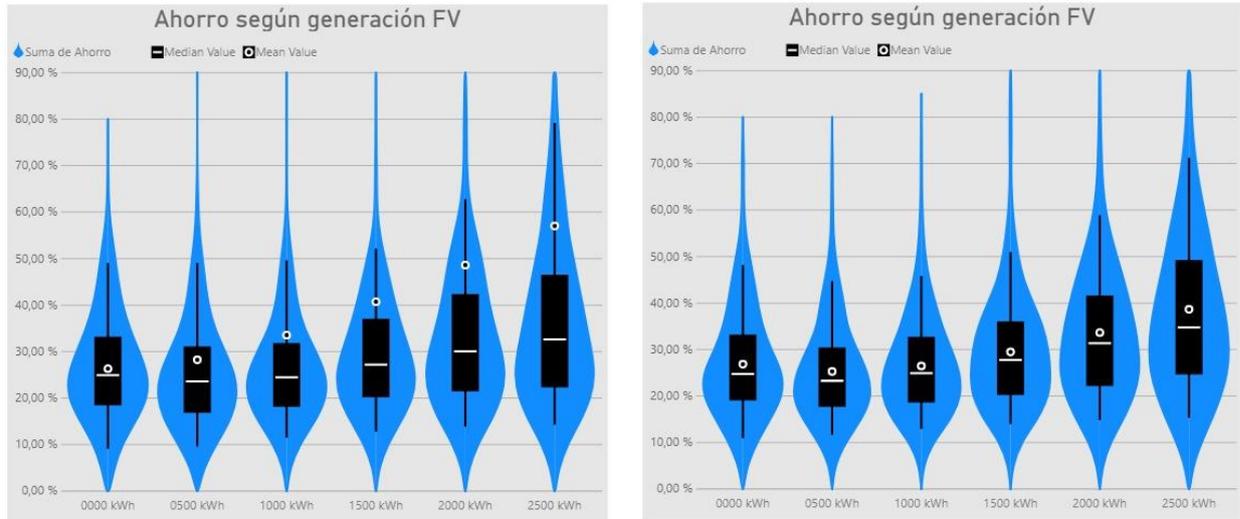


Figura 44. Ahorro según disponibilidad de almacenamiento

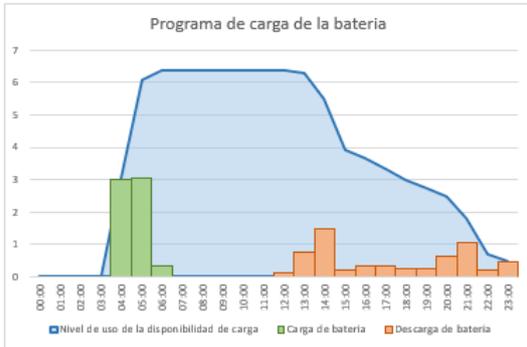
| Disponibilidad | Instalación 1 |           |             |              | Instalación 2 |           |             |              |
|----------------|---------------|-----------|-------------|--------------|---------------|-----------|-------------|--------------|
|                | Partida       | Intensiva | Teletrabajo | Estacionaria | Partida       | Intensiva | Teletrabajo | Estacionaria |
| Median %       | 24,9          | 23,5      | 29,3        | 36,7         | 24,3          | 26        | 27,6        | 33,8         |
| Mean %         | 27,4          | 26,4      | 29,8        | 37,7         | 26,0          | 28,2      | 28,2        | 34,6         |
| Std dev %      | 11,3          | 11,8      | 12,1        | 9,2          | 11,4          | 12,7      | 12,1        | 10,1         |

Tabla 15. Ahorro según disponibilidad de almacenamiento

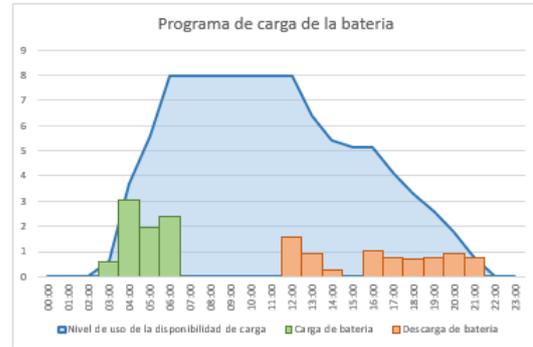
### 8.3 Profundidad de carga de la batería

El algoritmo, además del ahorro realizado, devuelve el programa de carga de la batería para el día siguiente. Es interesante estudiar el perfil de las cargas y descargas que prevé el sistema para comprobar si el uso adicional de la batería podría perjudicar su vida útil.

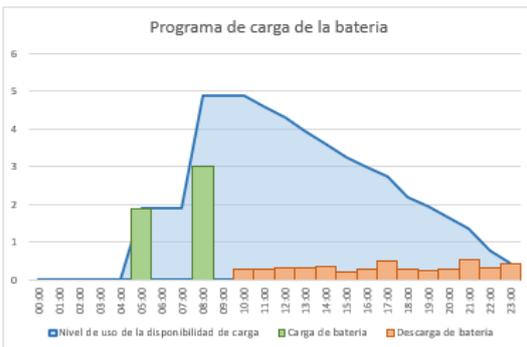
Los gráficos siguientes muestran los ciclos de carga a los cuales estaría sometida la batería para alcanzar el óptimo económico. En esta simulación la capacidad de batería asignada son 8 kWh. En los ejemplos mostrados, solo en el mes de diciembre alcanza este límite, y sobre el resto del año el 65% de los días.



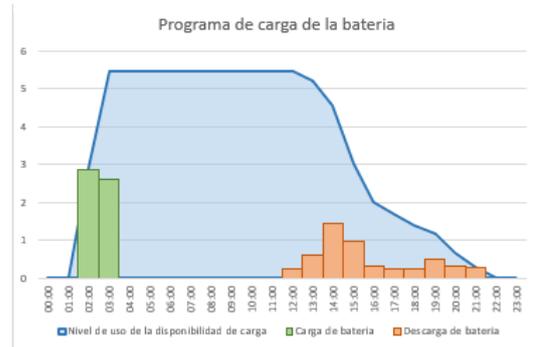
15/06/2019



15/12/2019



15/09/2019



15/03/2019

La vida útil de una batería se puede ver afectada por el fenómeno de descarga profunda (>60% DOD). Las descargas superficiales (< 20% DOD) no se consideran como un ciclo de carga y en nuestra simulación, el 100% de los programas de carga respetan el criterio de descarga superficial, si consideramos batería de 50-80 kWh.

Los perfiles de carga y descarga de la batería en el sistema eléctrico de la vivienda están limitados por la potencia de la instalación, habitualmente inferior a 4-5 kW, lo que corresponde para los vehículos eléctricos una carga superlenta que no afectan la vida útil.

#### 8.4 Conclusiones de resultados

El análisis realizado en los capítulos anteriores permite concluir que el parámetro que más influye sobre el ahorro realizado es la capacidad del sistema de almacenamiento.

Por otro lado, la generación fotovoltaica y la disponibilidad del VE son factores que influyen en la mejora del resultado, y cuyos niveles inferiores ya son suficientes para realizar ahorros aceptables.

Además, la simulación ha permitido comprobar que los ciclos de carga y descarga impuestos a la batería del vehículo está por debajo del nivel de una descarga superficial, lo que tiende a indicar que el sistema no debería influir en exceso sobre la vida útil de esta.

Resumen de parámetros.

- Capacidad de batería: 8 kWh
- Generación fotovoltaica: 0 ó más kWh/año
- Disponibilidad del VE: cualquier jornada laboral

El sistema permite realizar un ahorro de **23% y 29%**.

Nota importante:

El muestreo de Instalaciones ha sido reducido por la dificultad de obtener datos de consumo de viviendas individuales y por este motivo, se debe mostrar cierta precaución a la hora de interpretar los resultados. Sin embargo, las similitudes encontradas en las dos instalaciones de características de uso diferentes, dan sospechas de que existe cierto patrón que sería interesante estudiar con un muestreo más amplio.

## 9 Financiación

Para el cálculo de ingresos se han considerado la cantidad de vehículos mostrada en la tabla en los distintos años. Se ha estimado que el primer año el 0,75% de esos propietarios contratarán nuestros servicios y que aumentarán un 0,25% cada año. Por otro lado, se hace la suposición de que la cantidad de clientes con batería estacionaria menos significativa que la anterior será un 20% de la cantidad de clientes con vehículo eléctrico que se sumarán adicionalmente para obtener el número total de personas que contratan nuestros servicios.

El 30% contratará el plan Básico y el 70% el plan Perso+, de todos ellos el 80% hará un asesoramiento en el modelo de optimización gratis a través de internet y el 20% restante necesitará ayuda de un asesor por 1,99€.

Las cuotas mensuales para los servicios de programación de carga se elevan a 1,99€ para el servicio de programación y 3,99€ para el servicio de programación, asesoramiento y seguimiento, a partir del tercer año se aplicará una reducción del 10% cada año hasta alcanzar 0,99€ y 1,99€ respectivamente.

| Año                   | 2020   | 2021    | 2022    | 2023    | 2024    | 2025    | 2026      | 2027      | 2028      | 2029      | 2030      |
|-----------------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Total VE              | 76.430 | 102.792 | 164.154 | 263.721 | 413.360 | 638.801 | 921.292   | 1.276.634 | 1.722.862 | 2.294.389 | 2.850.101 |
| Cientes con VE        | 574    | 1.028   | 2.052   | 3.956   | 7.234   | 12.777  | 20.730    | 31.916    | 47.379    | 68.832    | 92.629    |
| Cientes con Bateria   | 115    | 206     | 411     | 792     | 1.447   | 2.556   | 4.146     | 6.384     | 9.476     | 13.767    | 18.526    |
| Total clientes        | 689    | 1.234   | 2.463   | 4.748   | 8.681   | 15.333  | 24.876    | 38.300    | 56.855    | 82.599    | 111.155   |
| Cientes Plan Basico   | 206    | 370     | 738     | 1.424   | 2.604   | 4.599   | 7.462     | 11.490    | 17.056    | 24.779    | 33.346    |
| Cientes Plan Perso+   | 483    | 864     | 1.725   | 3.324   | 6.077   | 10.734  | 17.414    | 26.810    | 39.799    | 57.820    | 77.809    |
| Beneficio Plan Basico | 8.009  | 14.386  | 28.693  | 51.965  | 89.429  | 149.047 | 228.842   | 334.369   | 472.294   | 666.060   | 896.340   |
| Beneficio Plan Perso+ | 31.820 | 56.920  | 113.643 | 203.070 | 345.069 | 567.877 | 860.497   | 1.240.570 | 1.729.083 | 2.421.502 | 3.258.641 |
| Estudio inicial       | 274    | 217     | 489     | 909     | 1.565   | 2.647   | 3.798     | 5.343     | 7.385     | 10.246    | 11.365    |
| Ingresos Totales      | 40.104 | 71.523  | 142.826 | 255.944 | 436.063 | 719.571 | 1.093.137 | 1.580.282 | 2.208.763 | 3.097.807 | 4.166.347 |
| €/cliente Plan Basico | 38,88  | 38,88   | 38,88   | 36,49   | 34,34   | 32,41   | 30,67     | 29,10     | 27,69     | 26,88     | 26,88     |
| €/cliente Plan Perso+ | 65,88  | 65,88   | 65,88   | 61,09   | 56,78   | 52,90   | 49,41     | 46,27     | 43,45     | 41,88     | 41,88     |

Figura 45: Ingresos de clientes

Como comercializadora GRIDit tiene ingresos por la venta de energía que se han estimado para la cantidad de clientes comentada en:

| Año                   | 2020           | 2021             | 2022             | 2023             | 2024             | 2025              | 2026              | 2027              | 2028              | 2029              | 2030               |
|-----------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| Termino de Energía    | 279.045        | 499.770          | 997.515          | 1.922.940        | 3.515.805        | 6.209.865         | 10.074.780        | 15.511.500        | 23.026.275        | 33.452.595        | 45.017.775         |
| Término de Potencia   | 341.055        | 610.830          | 1.219.185        | 2.350.260        | 4.297.095        | 7.589.835         | 12.313.620        | 18.958.500        | 28.143.225        | 40.886.505        | 55.021.725         |
| Alquiler contador     | 6.706          | 12.011           | 23.973           | 46.214           | 84.496           | 149.243           | 242.129           | 372.791           | 553.396           | 803.974           | 1.081.922          |
| <b>Total Ingresos</b> | <b>626.806</b> | <b>1.122.611</b> | <b>2.240.673</b> | <b>4.319.414</b> | <b>7.897.396</b> | <b>13.948.943</b> | <b>22.630.529</b> | <b>34.842.791</b> | <b>51.722.896</b> | <b>75.143.074</b> | <b>101.121.422</b> |

Figura 46: Ingresos venta de electricidad

En los gastos se encuentra la partida principal correspondiendo a la compra de la electricidad sobre la cual GRIDit aplica un margen comercial de 1%:

| Detalle de Gastos                    | Año 1 (2020)     | Año 2              | Año 3              | Año 4              | Año 5              | Año 6               | Año 7               | Año 8               | Año 9               | Año 10              | Año 11 (2030)        |
|--------------------------------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| 1- Personal                          | 200.000 €        | 200.000 €          | 200.000 €          | 200.000 €          | 300.000 €          | 400.000 €           | 500.000 €           | 600.000 €           | 700.000 €           | 800.000 €           | 900.000 €            |
| 2- Alquiler oficinas                 | 3.600 €          | 3.600 €            | 3.600 €            | 3.600 €            | 3.600 €            | 3.600 €             | 6.000 €             | 6.000 €             | 6.000 €             | 6.000 €             | 6.000 €              |
| 3- Material de oficina               | 6.000 €          | 1.000 €            | 1.000 €            | 1.500 €            | 9.500 €            | 4.500 €             | 5.000 €             | 5.000 €             | 10.000 €            | 5.000 €             | 5.500 €              |
| 4- Suministros                       | 1.800 €          | 1.800 €            | 1.800 €            | 1.800 €            | 1.800 €            | 1.800 €             | 2.040 €             | 2.040 €             | 2.040 €             | 2.040 €             | 2.040 €              |
| 5- Servidor SAAS                     | 15.000 €         | 15.000 €           | 15.000 €           | 15.000 €           | 20.000 €           | 20.000 €            | 20.000 €            | 30.000 €            | 35.000 €            | 35.000 €            | 50.000 €             |
| 6- Marketing                         | 12.000 €         | 9.600 €            | 9.600 €            | 9.600 €            | 9.600 €            | 9.600 €             | 9.600 €             | 9.600 €             | 9.600 €             | 9.600 €             | 9.600 €              |
| 7- Seguros                           | 1.000 €          | 1.000 €            | 1.000 €            | 1.000 €            | 1.000 €            | 1.500 €             | 1.500 €             | 1.500 €             | 1.500 €             | 1.500 €             | 1.500 €              |
| 8- Renting Vehículos Eléctricos      | 8.400 €          | 8.400 €            | 8.400 €            | 16.800 €           | 16.800 €           | 16.800 €            | 25.200 €            | 25.200 €            | 25.200 €            | 33.600 €            | 33.600 €             |
| <b>9- Gastos Compra Electricidad</b> | <b>620.538 €</b> | <b>1.111.385 €</b> | <b>2.218.267 €</b> | <b>4.276.220 €</b> | <b>7.818.422 €</b> | <b>13.809.454 €</b> | <b>22.404.224 €</b> | <b>34.494.363 €</b> | <b>51.205.667 €</b> | <b>74.391.643 €</b> | <b>100.110.208 €</b> |
| 10- Gastos varios                    | 1.000 €          | 1.000 €            | 1.000 €            | 2.000 €            | 2.000 €            | 2.000 €             | 3.000 €             | 3.000 €             | 4.000 €             | 4.000 €             | 5.000 €              |
| 11- Devolución Interés Préstamo      | 2.555,0 €        | 2.555,0 €          | 2.555,0 €          | 2.300,7 €          | 2.050,1 €          | 1.798,3 €           | 1.545,2 €           | 1.290,9 €           | 1.035,3 €           | 778,4 €             | 520,2 €              |
| <b>TOTAL GASTOS</b>                  | <b>871.893 €</b> | <b>1.355.340 €</b> | <b>2.462.222 €</b> | <b>4.529.821 €</b> | <b>8.184.772 €</b> | <b>14.271.052 €</b> | <b>22.978.109 €</b> | <b>35.177.994 €</b> | <b>52.000.042 €</b> | <b>75.289.161 €</b> | <b>101.123.968 €</b> |
| Flujo de fondos                      | -204.983 €       | -161.206 €         | -78.723 €          | 45.537 €           | 148.687 €          | 397.463 €           | 745.557 €           | 1.245.079 €         | 1.931.616 €         | 2.951.720 €         | 4.163.801 €          |

Figura 47: Gastos compra electricidad

El gasto de personal será 50.000€ por empleado contando inicialmente con 4 empleados y aumentando según la siguiente tabla:

| 1- Personal               | 2020           | 2021           | 2022           | 2023           | 2024           | 2025           | 2026           | 2027           | 2028           | 2029           | 2030           |
|---------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Nº empleados              | 4              | 4              | 4              | 4              | 6              | 8              | 10             | 12             | 14             | 16             | 18             |
| Salario medio bruto anual | 50.000         | 50.000         | 50.000         | 50.000         | 50.000         | 50.000         | 50.000         | 50.000         | 50.000         | 50.000         | 50.000         |
| <b>Total personal</b>     | <b>200.000</b> | <b>200.000</b> | <b>200.000</b> | <b>200.000</b> | <b>300.000</b> | <b>400.000</b> | <b>500.000</b> | <b>600.000</b> | <b>700.000</b> | <b>800.000</b> | <b>900.000</b> |

Figura 48: Gastos de personal

El gasto de alquiler de oficina será inicialmente de 300€ al mes y pasará a ser de 500€ posteriormente por aumentar la empresa de tamaño y contar con más trabajadores. El gasto de oficina asociado a estos trabajadores del que destacan los equipos de trabajo que se deben de renovar cada cierto tiempo se estima en:

| 3- Material de Oficina | 2020         | 2021         | 2022         | 2023         | 2024         | 2025         | 2026         | 2027         | 2028          | 2029         | 2030         |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| Nº ordenadores         | 5            | 0            | 0            | 0            | 8            | 3            | 3            | 3            | 8             | 3            | 3            |
| Precio ordenador       | 1.000        | 1.000        | 1.000        | 1.000        | 1.000        | 1.000        | 1.000        | 1.000        | 1.000         | 1.000        | 1.000        |
| Total ordenadores      | 5.000        | 0            | 0            | 0            | 8.000        | 3.000        | 3.000        | 3.000        | 8.000         | 3.000        | 3.000        |
| Resto de material      | 1.000        | 1.000        | 1.000        | 1.500        | 1.500        | 1.500        | 2.000        | 2.000        | 2.000         | 2.000        | 2.500        |
| <b>Total Material</b>  | <b>6.000</b> | <b>1.000</b> | <b>1.000</b> | <b>1.500</b> | <b>9.500</b> | <b>4.500</b> | <b>5.000</b> | <b>5.000</b> | <b>10.000</b> | <b>5.000</b> | <b>5.500</b> |

Figura 49: Gastos de material de oficina

El gasto mensual de suministros se estima en 150€ inicialmente, 170€ posteriormente. El gasto del servidor SAAS por su parte será de 15.000€ anuales inicialmente y 50.000€ posteriormente. El gasto de marketing en el primer año será de 1.000 € mensuales, 800€ en los siguientes años. El gasto de seguros serán 1.000€ anuales. El renting de vehículos se estima en 700€ al mes por coche, con un coche los tres primeros años, uno más los siguientes tres años, dos más en los siguientes tres años...

Se pide un préstamo de 500.000€ a devolver en 10 años, con una demora de 3 años en empezar a pagar las cuotas de devolución del préstamo.

Con los datos anteriormente descritos, el proyecto tiene los siguientes parámetros de rentabilidad:

|                 | Año 1 (2020) | Año 2      | Año 3     | Año 4    | Año 5     | Año 6     | Año 7     | Año 8       | Año 9       | Año 10      | Año 11 (2030) |
|-----------------|--------------|------------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| Flujo de fondos | -204.983 €   | -161.206 € | -78.723 € | 45.537 € | 148.687 € | 397.463 € | 745.557 € | 1.245.079 € | 1.931.616 € | 2.951.720 € | 4.163.801 €   |

|                   |             |
|-------------------|-------------|
| Tasa de descuento | 6,0%        |
| Años              | 11          |
| TIR               | 56%         |
| VAN               | 6.286.422 € |

Tabla 16. Parámetros de rentabilidad del proyecto



| Detalle de Ingresos             | Año 1 (2020)        | Año 2              | Año 3              | Año 4              | Año 5              | Año 6               | Año 7               | Año 8               | Año 9               | Año 10              | Año 11 (2030)        |
|---------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| 1- Estudio inicial              | 274 €               | 217 €              | 489 €              | 909 €              | 1.565 €            | 2.647 €             | 3.798 €             | 5.343 €             | 7.385 €             | 10.246 €            | 11.365 €             |
| 2- Tarifa básica                | 8.009 €             | 14.386 €           | 28.693 €           | 51.965 €           | 89.429 €           | 149.047 €           | 228.842 €           | 334.369 €           | 472.294 €           | 666.060 €           | 896.340 €            |
| 3- Tarifa Perso+                | 31.820 €            | 56.920 €           | 113.643 €          | 203.070 €          | 345.069 €          | 567.877 €           | 860.497 €           | 1.240.570 €         | 1.729.083 €         | 2.421.502 €         | 3.258.641 €          |
| 4- Ingresos Venta Electricidad  | 626.806 €           | 1.122.611 €        | 2.240.673 €        | 4.319.414 €        | 7.897.396 €        | 13.948.943 €        | 22.630.529 €        | 34.842.791 €        | 51.722.896 €        | 75.143.074 €        | 101.121.422 €        |
| <b>TOTAL INGRESOS</b>           | <b>666.910 €</b>    | <b>1.194.134 €</b> | <b>2.383.499 €</b> | <b>4.575.358 €</b> | <b>8.333.459 €</b> | <b>14.668.514 €</b> | <b>23.723.666 €</b> | <b>36.423.073 €</b> | <b>53.931.658 €</b> | <b>78.240.881 €</b> | <b>105.287.769 €</b> |
| <b>Detalle de Gastos</b>        | <b>Año 1 (2020)</b> | <b>Año 2</b>       | <b>Año 3</b>       | <b>Año 4</b>       | <b>Año 5</b>       | <b>Año 6</b>        | <b>Año 7</b>        | <b>Año 8</b>        | <b>Año 9</b>        | <b>Año 10</b>       | <b>Año 11 (2030)</b> |
| 1- Personal                     | 200.000 €           | 200.000 €          | 200.000 €          | 200.000 €          | 300.000 €          | 400.000 €           | 500.000 €           | 600.000 €           | 700.000 €           | 800.000 €           | 900.000 €            |
| 2- Alquiler oficinas            | 3.600 €             | 3.600 €            | 3.600 €            | 3.600 €            | 3.600 €            | 3.600 €             | 6.000 €             | 6.000 €             | 6.000 €             | 6.000 €             | 6.000 €              |
| 3- Material de oficina          | 6.000 €             | 1.000 €            | 1.000 €            | 1.500 €            | 9.500 €            | 4.500 €             | 5.000 €             | 5.000 €             | 10.000 €            | 5.000 €             | 5.500 €              |
| 4- Suministros                  | 1.800 €             | 1.800 €            | 1.800 €            | 1.800 €            | 1.800 €            | 1.800 €             | 2.040 €             | 2.040 €             | 2.040 €             | 2.040 €             | 2.040 €              |
| 5- Servidor SAAS                | 15.000 €            | 15.000 €           | 15.000 €           | 15.000 €           | 20.000 €           | 20.000 €            | 20.000 €            | 30.000 €            | 35.000 €            | 35.000 €            | 50.000 €             |
| 6- Marketing                    | 12.000 €            | 9.600 €            | 9.600 €            | 9.600 €            | 9.600 €            | 9.600 €             | 9.600 €             | 9.600 €             | 9.600 €             | 9.600 €             | 9.600 €              |
| 7- Seguros                      | 1.000 €             | 1.000 €            | 1.000 €            | 1.000 €            | 1.000 €            | 1.500 €             | 1.500 €             | 1.500 €             | 1.500 €             | 1.500 €             | 1.500 €              |
| 8- Renting Vehiculos Electricos | 8.400 €             | 8.400 €            | 8.400 €            | 16.800 €           | 16.800 €           | 16.800 €            | 25.200 €            | 25.200 €            | 25.200 €            | 33.600 €            | 33.600 €             |
| 9- Gastos Compra Electricidad   | 620.538 €           | 1.111.385 €        | 2.218.267 €        | 4.276.220 €        | 7.818.422 €        | 13.809.454 €        | 22.404.224 €        | 34.494.363 €        | 51.205.667 €        | 74.391.643 €        | 100.110.208 €        |
| 10- Gastos varios               | 1.000 €             | 1.000 €            | 1.000 €            | 2.000 €            | 2.000 €            | 2.000 €             | 3.000 €             | 3.000 €             | 4.000 €             | 4.000 €             | 5.000 €              |
| 11- Devolución Interés Préstamo | 2.555,0 €           | 2.555,0 €          | 2.555,0 €          | 2.300,7 €          | 2.050,1 €          | 1.798,3 €           | 1.545,2 €           | 1.290,9 €           | 1.035,3 €           | 778,4 €             | 520,2 €              |
| <b>TOTAL GASTOS</b>             | <b>871.893 €</b>    | <b>1.355.340 €</b> | <b>2.462.222 €</b> | <b>4.529.821 €</b> | <b>8.184.772 €</b> | <b>14.271.052 €</b> | <b>22.978.109 €</b> | <b>35.177.994 €</b> | <b>52.000.042 €</b> | <b>75.289.161 €</b> | <b>101.123.968 €</b> |
| <b>Flujo de Fondos</b>          | <b>-204.983 €</b>   | <b>-161.206 €</b>  | <b>-78.723 €</b>   | <b>45.537 €</b>    | <b>148.687 €</b>   | <b>397.463 €</b>    | <b>745.557 €</b>    | <b>1.245.079 €</b>  | <b>1.931.616 €</b>  | <b>2.951.720 €</b>  | <b>4.163.801 €</b>   |

|                   |             |
|-------------------|-------------|
| Tasa de descuento | 6,0%        |
| Años              | 11          |
| TIR               | 56%         |
| VAN               | 6.286.422 € |