



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO INDUSTRIAL

VEHICLE TO GRID (V2G) SERVICES

Autor: Álvaro López de Lara Mérida
Director: Jaime Román Úbeda

Madrid
Julio 2018

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. Álvaro López de Lara Mérida DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: Vehicle to grid (V2G) services, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.
- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción

de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 17 de Julio de 2018

ACEPTA

Fdo

A handwritten signature in blue ink on a light green background. The signature appears to read "Alvaro" followed by a stylized flourish.

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Vehicle to grid (V2G) services
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2017-2018 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Álvaro López de Lara Mérida

Fecha: 16/07/ 2018

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Jaime Román Ubeda

Fecha: 16/07/2018



VEHICLE TO GRID (V2G) SERVICES

Autor: López de Lara Mérida, Álvaro

Director: Román Úbeda, Jaime

Entidad colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

INTRODUCCIÓN

La implantación V2G sigue hoy en día desarrollándose y buscando mejoras. Existen varios proyectos dedicados a ellos en la actualidad. Por ejemplo, en la Universidad de Delaware se está llevando a cabo un importante proyecto sobre el sistema V2G en el que están intentando mejorar los sistemas de carga, así como los propios automóviles y sus baterías de almacenaje.

Para la aplicación de cualquiera de los servicios que ofrece V2G es necesario contar con el número suficiente de vehículos eléctricos. Actualmente en España hay alrededor de 27.000 coches eléctricos e híbridos, y las ventas mensuales son superiores a 900 vehículos con una tendencia que va en aumento.

El objeto del presente estudio es determinar el impacto que tendrían distintos tipos de servicios “vehículo a red” (V2G, vehicle to grid, en inglés) en España. Existen diversos servicios que se pueden ofrecer, pero el estudio se centrará en 3 de las aplicaciones del V2G: compra-venta de la energía, peak shaving y soporte a la generación de renovables.

Dependiendo del servicio, se evaluarán distintos escenarios en función de la localización del punto de recarga bidireccional y dependiendo de la estación del año (invierno/verano).

BATERÍAS PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

En primer lugar, hay que tener claro para evaluar cuánta energía aporta una batería actualmente y determinar una estimación de la cantidad de coches necesarios para las aplicaciones analizadas.



A lo largo de este trabajo, se utiliza como base el modelo de coche Tesla model S, ya que actualmente cuenta con una de las mejores baterías en el mercado. Utiliza un pack de baterías distribuidas en 7.104 celdas, cuyo modelo utilizado es la “Panasonic NCR18650B”. Este pack tiene una autonomía de unos 500 km. Para los aportes a la red se considerará disponible el 50% de la energía de la batería. Para estimar la energía que se puede obtener, se tiene en cuenta tanto la curva de descarga de la batería como la curva del ciclo de vida, para así estimar una cantidad conservadora. El resultado obtenido es que descargando la mitad de la batería durante 1 hora, se puede obtener hasta 47,77 kWh de cada coche.

SERVICIOS V2G

La primera aplicación que se analiza es el **servicio de compra-venta individual de energía** por cada usuario de coche. Atendiendo a diferentes escenarios de disponibilidad del usuario o temporada y suponiendo que el número de coches eléctricos es suficientemente bajo como para no afectar la curva de precio del mercado, los usuarios que compren y vendan en los puntos óptimos del día (se considera que los puntos de recarga se encuentran en los espacios de trabajo para la solución óptima a largo plazo) podrán obtener unos beneficios anuales de unos 863 €. Este valor resulta de comprar con precios bajos y vender con precios altos, durante todo un año en el mercado mayorista.

La segunda aplicación que se analiza es el **servicio de peak shaving**. Se obtiene que con un número suficientemente elevado de coches disponibles, en torno a 62.800 coches eléctricos en España, se dispondría de 3.000 MWh de energía para inyectar en horas de punta, haciendo relevante este servicio de “peak shaving”. La cantidad de energía ha sido escogida de tal manera que sea suficientemente grande como para que el sistema lo note y haya variaciones en el precio, considerando a la vez un escenario alcanzable en número de coches eléctricos en España a medio plazo. El gradiente del precio de la curva del mercado mayorista para aumento/reducción de la demanda es muy relevante. En este estudio, se realiza una aproximación de este gradiente observando la variación en días representativos de la demanda del sistema. Como promedio diario este gradiente es de



0,04813 €/MWh, aunque en la realidad esta reducción se concentrará en las horas de punta con el consiguiente aumento de los precios de valle.

Por último, se estudia el servicio que ofrece **soporte a energías renovables**. En concreto la energía eólica, con desvíos entorno al 5% con respecto a los programas diarios de su generación. No se considera el “área de regulación” de la compañía, que se encargaría de compensar estas desviaciones. Considerando un desvío del 3% en déficit de producción, el coste de los desvíos anuales para las empresas es de 73,61 M€. Como situación más desfavorable, para compensar el déficit se tiene en cuenta un desvío del 5% durante dos horas. El número de coches necesarios asciende a 348.800 solo para este servicio. Para que salga rentable este servicio, se presenta la opción del contrato por batería, en el que la empresa ofrece al usuario unos 168,8 € al año. Dividiendo las pérdidas totales entre el número de coches necesarios se obtiene que cada vehículo ahorra 211 €/año. Esa diferencia del 20% entre la oferta del contrato de batería y el verdadero ahorro del coche es debido a que se considera que la empresa también quiere participar del ahorro que proporciona servicio.

CONCLUSIONES

Los resultados que se han obtenido indican que en las etapas iniciales, para promover una mayor compra de vehículos eléctricos e ir acoplándose al sistema, el servicio de compra-venta de energía individual puede ser un buen aliciente. Posteriormente, cuando el número de coches sea suficientemente elevado, ocurriría una transición natural al peak shaving. Los usuarios continuarían utilizando los puntos de recarga de las oficinas en el mismo horario, por lo que no afectaría a su vida diaria. Para este servicio se ha supuesto una flota necesaria de alrededor de 62.800 coches. Esta inercia (a más coches mayor reducción de precio medio) no puede continuar indefinidamente. Además de que se va aumentando el precio del mercado mayorista en la franja horaria de la madrugada, en verano la demanda máxima no es suficiente como para que el almacenaje de energía salga rentable en las condiciones actuales de mercado. Por lo tanto, podría haber un máximo de potencia (y por tanto de coches) que harían razonable a este servicio.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

Máster en Ingeniería Industrial

Proyecto Fin de Máster – Vehicle to grid (V2G) Services

A medida que vaya aumentando el número de coches eléctricos se podrán complementar con otro tipo de servicios, como contratos de soporte a energías renovables.

En este proyecto se abarca tan solo el estudio de 3 de los servicios posibles del V2G. Hay más servicios que podrían ofrecer mayor beneficio para el usuario. Además, llegada a una cantidad de coches que hagan que se sature el mercado de los servicios es de esperar que el coste inicial del coche sea suficientemente bajo para cambiar a condiciones de mercado más favorable.

En conclusión, los desarrollos futuros del V2G dependen en gran medida de la evolución tecnológica y numérica de los vehículos eléctricos, y serán estas condiciones las que determinen si el V2G se convierte en una realidad prometedora.



VEHICLE TO GRID (V2G) SERVICES

INTRODUCTION

The implementation of V2G is still developing nowadays and in search of improvements. There exists several projects dedicated to them at the moment. For example, an important project about V2G in which they are trying to improve the charging systems as well as the vehicles and their storage batteries is taking place in Delaware University.

For the application of any of the services that V2G offers it is necessary to have enough electric vehicles. There are around 27.000 electric and hybrid cars in Spain right now, and the monthly sales are above 900 vehicles with a growing tendency.

The purpose of this study is to determine the impact that would have different types of services “vehicle to grid” (V2G) in Spain. There are several services that can be offered, but this study will focus on 3 of the applications of V2G: energy purchase-sell, peak shaving and assist to renewable energy generation.

Depending on the service, different scenarios will be evaluated according to the location of the bidirectional charging point and depending on the season of the year (winter/summer).

ELECTRIC VEHICLES' BATERIES

Firstly, it has to be known to evaluate the amount of energy a battery can provide and determine an estimation of the quantity of cars needed for the analyzed applications.

Along this study, it is used as base model the “Tesla model S” car, since it has one of the best batteries available on the market nowadays. It uses a pack of batteries (“Panasonic NCR18650B” model) distributed in 7.104 cells. This pack has an autonomy of 500 km. For the provision of the energy to the grid, it will be considered an availability



of 50% of the battery. To estimate the energy that can be obtained, both the discharge curve and the life cycle curve have to be taken into account, in order to estimate conservatively. Discharging the battery during 1 hour provides a total energy of 47,77 kWh.

V2G SERVICES

The first application analyzed is the **individual energy purchase-sell service** for each electric car user. Looking at different scenarios of the user's availability or season and assuming that the amount of electric cars is low enough to not affect the wholesale market price curve, the users that purchase and sell in the optimal moments of the day (the bidirectional charging points are considered to be placed in the work places as a long-term solution) could earn around 863 € annually. This value is the result of purchasing low and selling at high prices for a whole year in the wholesale electricity market.

The second application analyzed is the **peak shaving service**. The results show that with a large enough number of available electric cars (around 62.800 in Spain), we would have 3.000 MWh of energy to inject in rush hours. This amount of energy has been chosen so that it is big enough to affect the system and see price variations, considering at the same time a mid-term reachable scenario in quantity of electric cars in Spain. The curve price gradient of the wholesale market for an increase/reduction of the demand is very relevant. In this study, an approximation of this gradient is made observing the variation in meaningful days of the system demand. Although the results conclude that as a daily average this gradient is 0,04813 €/MWh, it has to be remembered that this price reduction will be focused on rush hours, meaning a rise in the price during off-peak hours.

The last application studied is the service that **assists renewable energies**. In particular the wind energy, with deviations around 5% towards their generation daily programs. The "area of regulation" of the company is not considered, which would be in charge of compensating these energy deviations. Considering a 3% deviation in production deficit, the annual cost of the deviations to all companies in Spain together is 73,61 M€. To compensate the deficit, the situation proposed is to have enough electric



cars to cover a 5% deviation for 2 hours. The amount of needed cars just for this service is 348.800 cars. For this service to be profitable, it is presented the “battery contract”, in which a company offers 168.8 € to the car user. Dividing the total loss between the needed amount of cars would result in a saving of 211 € per car. This 20% difference between the battery contract and the real saving of each car is due to the company also wanting to be part of the savings that the service provides.

CONCLUSIONS

The obtained results indicate that in early stages, to promote purchasing electric cars and attach it to the system, the individual energy purchase-sell service can be a good incentive. Subsequently, when the amount of electric cars is high enough, a natural transition would happen to peak shaving. The users would continue utilizing the bidirectional charging points located in the work places in the same hours, so it would not affect their daily life. It has been supposed that the necessary number of cars is 62.800 for this service. This trend (the more amount of cars the less average market price) cannot continue indefinitely. Not only the wholesale market price during off-peak hours rises, but also in summer the maximum demand is not high enough for this to be a profitable service with the current market conditions. Therefore, there could be a maximum power (and therefore of cars) that would make this service reasonable.

As the number of electric cars rises other services can act as complement, like the assist of renewable energies.

This project covers only 3 of the possible V2G services. There are more services that could offer bigger benefits to the user. Also, if a quantity of cars that saturates the market is reached, it is to be expected that the initial cost of the electric car will be low enough to change to more favorable market conditions.

In conclusion, future V2G developments are greatly linked to technology and quantity evolution of electric vehicles, and these will be the conditions that will determine whether or not V2G becomes a promising reality.



Índice

1. ALCANCE DEL PROYECTO	1
2. ESTADO DEL ARTE.....	3
2.1 ESTADO ACTUAL DE LA CUESTIÓN	4
2.2 PEVs COMO RECURSO DE ALMACENAMIENTO.....	5
2.3 POSIBLES SERVICIOS OFRECIDOS POR V2G	6
2.3.1 Servicios al mercado eléctrico	6
2.3.2 Servicios a los distribuidores	7
2.3.3 Servicios a los consumidores	8
3. TECNOLOGÍAS DE BATERÍAS.....	9
3.1 BATERÍAS DE IONES DE LITIO CON NÍQUEL Y COBALTO.....	10
3.2 FUTURO DE LAS BATERÍAS	10
4. ENERGÍA DE LAS BATERÍAS	13
5. VENTA DE ENERGÍA	17
5.1 SIN DIFERENCIACIÓN DE ESTACIONES.....	19
5.1.1 Caso 1: Punto de recarga en casa – buen horario	19
5.1.2 Caso 2: Punto de recarga en casa – mal horario	20
5.1.3 Caso 3: Punto de recarga en la oficina	21
5.2 CON DIFERENCIACIÓN ESTACIONAL	22
5.2.1 Caso 4: Punto de recarga en casa – Invierno	22
5.2.2 Caso 5: Punto de recarga en casa – Verano	23
5.3 RESUMEN DE RESULTADOS	24
6. PEAK SHAVING	27
6.1 FLOTA DE COCHES NECESARIA	29
6.2 VARIACIÓN DEL PRECIO DE LA ENERGÍA EN EL MERCADO.....	29
6.3 CONCLUSIONES.....	35
7. SOPORTE A ENERGÍAS RENOVABLES.....	37
7.1 COSTE DE LOS DESVÍOS EN LA PROGRAMACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA	38
7.2 FLOTA DE COCHES NECESARIA	40
7.3 CONTRATO DE BATERÍAS	41
7.4 CONCLUSIÓN	41
8. CONCLUSIONES GENERALES	43
9. ESCALABILIDAD Y REPLICABILIDAD.....	47
10. BLIOGRAFÍA.....	49
11. ANEXOS.....	51



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

Máster en Ingeniería Industrial

Proyecto Fin de Máster – Vehicle to grid (V2G) Services

11.1 ANEXO I.....	51
11.2 ANEXO II.....	52
11.3 ANEXO III.....	65
11.4 ANEXO IV.....	68
11.5 ANEXO V.....	70





1. ALCANCE DEL PROYECTO

Este proyecto servirá para tener una visión general de todas las posibles aplicaciones que podrían realizarse gracias al V2G (“Vehicle to Grid” en inglés). Dentro de este concepto se engloban utilizaciones diversas que las baterías del VE podrían tener dentro de la red eléctrica, apoyo, reserva, peak shaving, etc. Esos servicios descritos en el proyecto serían además un apoyo importante para un sistema energético y de transporte sostenible. Sin embargo, hay que tener en cuenta diversos criterios para poder implantar un sistema de estas características, como la viabilidad económica, de infraestructuras, etc. El proyecto se centrará en los siguientes puntos:

- Estudio de la aplicación de 3 tecnologías del V2G: Estudio de 3 de las posibles aplicaciones del sistema V2G: “soporte a generación de renovables”, “peak shaving” y “venta de la energía”.
- Comparativa de precios en el mercado actual con y sin el sistema V2G: Balance para ver la viabilidad económica del proyecto.
- Escalabilidad y replicabilidad: Ver qué cantidad de vehículos harían esta aplicación viable y qué habría que tener en cuenta para poder aplicarlo en otros países.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

Máster en Ingeniería Industrial

Proyecto Fin de Máster – Vehicle to grid (V2G) Services



2. ESTADO DEL ARTE

En la actualidad, se estima que la cantidad de automóviles que existen en el mundo supera los 1.200 millones. Esta cifra fue anunciada por Navigant Search, una empresa dedicada a hacer análisis a nivel global. Es preocupante que si el crecimiento en la cantidad de vehículos en circulación se mantiene en los niveles actuales, para el año 2035 se podría llegar a los 2.000 millones de vehículos, con el consiguiente impacto ambiental. Esto obliga a replantear que tipo de crecimiento es razonable y en qué medida se pueden suplir estos vehículos de manera que el crecimiento de la demanda de transporte sea sostenible.

La Integración Vehículo-Red (VGI) puede permitir hacer uso de las tecnologías aplicadas a los PEV (“Plug-in Electric Vehicle”, es decir, coches eléctricos conectados a la red) para que puedan ser usados como complemento a la red, reduciendo los costes de operación de empresas y usuarios de los vehículos, ayudando al mantenimiento de la distribución de energía y reduciendo el coste de la electricidad. El tamaño del vehículo y el hecho de que su función principal sea la de transporte hace que haya ciertas limitaciones sobre cómo se puede utilizar este recurso para ayudar a la red.

Para poder utilizar la energía almacenada en el vehículo como recurso de la red, nos encontramos con ciertas restricciones:

- Que el vehículo sea capaz de dar la energía requerida así como de regular la potencia que se necesita realmente.
- Que se alineen los objetivos de todos los interesados: el usuario del vehículo, la estación encargada para el reparto de la energía y el usuario final de esa energía.
- La existencia de redes que conecten con los usuarios de vehículos de este tipo.



2.1 Estado actual de la cuestión

La implantación V2G sigue hoy en día desarrollándose y buscando mejoras. Existen varios proyectos dedicados a ellos en la actualidad. Por ejemplo, en la Universidad de Delaware se está llevando a cabo un importante proyecto sobre el sistema V2G en el que están intentando mejorar los sistemas de carga, así como los propios automóviles y sus baterías de almacenaje.

Además, existen en la actualidad lugares en los que están empezando a llevarse a cabo pruebas reales de funcionamiento. La empresa Nissan y la multinacional energética Enel han puesto en marcha un proyecto en Reino Unido en el que han instalado 100 puntos de conexión en localizaciones concretas con un determinado grupo de clientes. Más recientemente, en verano de 2017, un acuerdo entre estas dos empresas junto con el Instituto Italiano de Tecnología ha permitido la instalación de 2 estaciones de carga V2G en la propia sede, que servirá como proyecto piloto mientras se define un marco legal para esta tecnología en Italia.



Ilustración 1. V2G en la sede de IIT en Génova.



2.2 ***PEVs como recurso de almacenamiento***

Los vehículos tienen tres características principales que les convierten en un interesante recurso para la red: flexibilidad operacional, la implantación de tecnología para la actuación y comunicación y el bajo uso de la energía almacenada:

- Flexibilidad operacional: Un PEV puede funcionar tanto como consumidor (mientras su batería se está cargando) como generador (descargando la electricidad almacenada en la batería a la red). Esta cantidad de electricidad demandada o suministrada puede ser fácilmente controlada. Por ejemplo, algunas empresas de automoción ya están aprovechándose de esta capacidad de suministrar electricidad para otros usos aparte de movilizar los vehículos, como para proveer potencia a redes locales colaborando así con la distribución.
- Implantación de tecnología para la actuación y comunicación: Las tecnologías utilizadas en la seguridad, navegación y modos de funcionamiento que ayudan a incrementar la conectividad de los coches a las redes de información y a las infraestructuras también son aprovechadas para mejorar la gestión de la carga eléctrica del vehículo. Muchos PEVs y algunas estaciones de carga de vehículos eléctricos cuentan con temporizadores y modos de operación (comenzar carga, detener carga, retrasar carga...), dando a los conductores la posibilidad de programar la recarga.
- Bajo uso de la energía almacenada: En este apartado hay dos datos que son interesantes, proporcionados por estudios realizados. Por un lado, los coches permanecen inactivos durante un 96% de media al día, necesitando tan solo unas 2 horas y media de tiempo de recarga. Por otro lado, el número máximo de automóviles en la carretera a cualquier hora es menor del 13% del total de vehículos en España. Con estos dos datos, vemos que la cantidad de tiempo y la cantidad de vehículos disponibles para que puedan ser utilizados como



recurso para la red hacen que el uso de este recurso sea estable, en contra de lo que pudiera parecer intuitivamente.

2.3 Posibles servicios ofrecidos por V2G

Los servicios pueden ser clasificados en función de la entidad que reciba los beneficios: el mercado eléctrico, los distribuidores o el consumidor.

2.3.1 Servicios al mercado eléctrico

- Regulación de frecuencia (regulación de potencia activa): La regulación consiste en la gestión de los flujos de intercambio de potencia con otras áreas de control para que coincidan con los intercambios de potencia programados y variaciones momentáneas de demanda dentro el área de control. La regulación es usada para mitigar las variaciones de frecuencia de la red causadas por las posibles fluctuaciones en generación y demanda, y así poder mantenerla dentro de rango. Además, los cargadores de los EV tienen una respuesta muy rápida, haciéndolos adecuados para regulación.
- Reserva a subir: Se tiene capacidad disponible para poder suministrar electricidad en el caso que un generador no esté disponible inesperadamente.
- Soporte a generación de renovables: Un sistema de energía renovable puede estar sujeto a fluctuaciones aleatorias en su perfil de carga. La energía almacenada en las baterías del VE se encargaría de suavizar los picos provocados por las variaciones de esta generación, variando la potencia para mantener el nivel de generación dentro del rango programado. Es decir, el almacenamiento puede acomodar las variaciones diarias de la generación renovable cargando o descargando las baterías.



- “Peak shaving”: Los picos de demanda tienen un efecto negativo en la eficiencia económica de la red eléctrica, ya que puede provocar que unidades de generación de menor eficiencia y más caras tengan que arrancar o que deban mantenerlas en reserva para cubrir estos picos. Además, los picos de demanda aumentan el coste de la capacidad de la distribución. El suministro local de potencia durante las horas de picos de demanda puede ayudar a mejorar estos problemas.
- Arranque de motores: El arranque de grandes motores de inducción o la combinación de varios motores de tamaño medio arrancando al mismo tiempo requiere de una gran cantidad de potencia reactiva instantánea durante su periodo de aceleración. Esta demanda de potencia reactiva del sistema puede causar perturbaciones. Por ejemplo, se produce una caída de tensión en el sistema (que dependerá de la cantidad de corriente suministrada al motor), que puede provocar el parpadeo de luces y si esta es muy grande, también afectará a la capacidad del propio motor. Por lo tanto, una manera de evitar estos sería utilizar los PEVs como proveedores de potencia para estos casos o al menos como suministro complementario.

2.3.2 Servicios a los distribuidores

- Aplazamiento de mejora del sistema de distribución: Puede ser utilizado para retrasar o evitar inversiones en nuevas infraestructuras (reemplazando transformadores sobrecargados o reconduciendo líneas de distribución) que en otro caso sería necesarias para mantener la capacidad adecuada para satisfacer los flujos de carga. De esta manera también se consigue extender la utilidad de la infraestructura existente.
- Regulación de tensión (regulación de potencia reactiva): La energía almacenada puede ser usada para regular el sistema de tensiones de tal manera las tensiones en los nudos de los consumidores se mantengan dentro de las



tolerancias permitidas. Los PEVs pueden descargar potencia real para proporcionar asistencia a la tensión.

2.3.3 Servicios a los consumidores

- Calidad del servicio: El almacenamiento puede proteger al consumidor en caso de que ocurra cualquier contingencia programada o no programada que provoque perturbaciones, como variaciones de tensión o de frecuencia, interrupciones en el servicio... En este caso, el sistema de almacenamiento controla las variaciones negativas y ajusta la descarga para suavizar dichas perturbaciones, ya sean de unos segundos o varios minutos.
- Venta de la energía: El almacenamiento de energía puede reducir el coste de electricidad consumida por el consumidor cargando el sistema de almacenamiento mientras el precio por kW sea bajo y descargando para suministrar carga que sea necesaria durante horas en las que el kW sea más caro.



3. TECNOLOGÍAS DE BATERÍAS

Tanto si se atiende a la autonomía del coche como a la durabilidad de la batería o el precio del vehículo, uno de los aspectos técnicos más importantes a tener en cuenta es la adecuada elección del tipo de tecnología utilizado para la batería que almacenará la energía.

Para ello, hay unos parámetros de la batería a tener en cuenta a la hora de destinarla a un vehículo eléctrico:

- Densidad energética: Es la energía que la batería puede suministrar por kg, y se expresa en Wh/kg. A mayor densidad energética, tendremos más autonomía en el vehículo y este pesará menos.
- Potencia: A mayor potencia, mejores prestaciones tendrá el vehículo eléctrico, y es expresada en W/kg.
- Eficiencia: Es la energía realmente aprovechada por la batería, medida en %.
- Coste: El precio de la batería afectará al precio total del vehículo de manera directa.
- Ciclo de vida: La cantidad de veces que la batería soporta ciclos de carga y descarga. A mayor número de ciclos de vida, mayor autonomía tendrá el coche.

Todos los avances tecnológicos que ha habido en las baterías (desde las primeras baterías de plomo-ácido hasta las más utilizadas hoy en día de iones de litio, capaces de ofrecer una autonomía de 12 veces superior) han animado a los fabricantes a desarrollar e invertir en modelos de coches eléctricos nuevos.

3.1 Baterías de iones de litio con níquel y cobalto

Sin profundizar demasiado en el funcionamiento de una batería, actualmente todos los automóviles eléctricos utilizan baterías de iones de litio con electrolito líquido. La diferencia viene en la composición de del cátodo y el ánodo. Gracias a esto se ha pasado a una autonomía de unos 400 o 500 km gracias a la adición del níquel y cobalto en la composición de del cátodo. También pueden tener algún elemento más como manganeso o aluminio, en función del fabricante de la batería, ofreciendo características similares pero diferentes. Por ejemplo, añadiendo manganeso alargaremos la vida útil de la batería a costa de incrementar el coste del vehículo entre un 5 o un 10%.

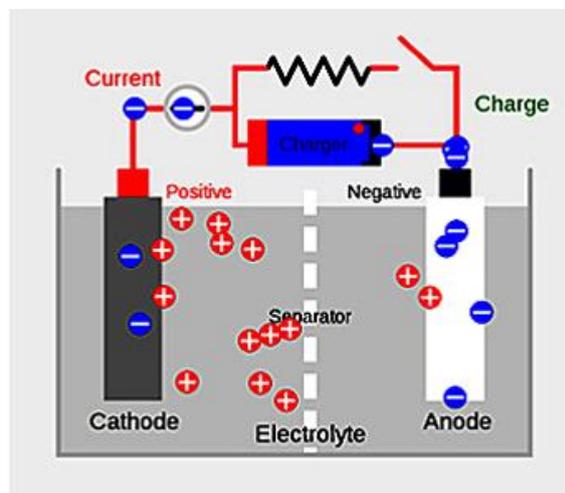


Ilustración 2. Funcionamiento de una batería.

Fuente: <http://solarcellcentral.com>

3.2 Futuro de las baterías

En primer lugar, a este tipo de baterías de litio con cobalto y níquel les deberían quedar varios años de utilización, ya que tienen aún margen de mejora. Sobre todo en cuanto al precio, que es necesario reducir para poder comprar este tipo de vehículos a unos precios más asequibles. De aquí a 10 años podría lograrse este objetivo.

Por otra parte, está habiendo a día de hoy investigación y experimentación en laboratorios, por lo que de los tipos que se mencionarán a continuación, es posible que entren al mercado o no:

- Batería de iones de litio y azufre: Tiene un aumento considerable en su energía específica, pero necesita usar grafeno también, muy difícil de producir a gran escala y caro.
- Batería de litio metal: Además de proteger contra la corrosión, puede aumentar hasta 3 veces la capacidad de las baterías de litio convencionales. El problema es que una vez más, necesita usar grafeno.
- Uso de electrólito sólido: Muy cerca de conseguirse, encabezados por Samsung (para móviles en 2020) y LG Chem (para automóviles). Supondría una gran cantidad de ventajas: evita la corrosión, no son necesarios separadores, ofrece el doble de densidad energética que una batería de iones de litio, sufre mucho menos calentamiento, prácticamente no hay riesgo de incendio, se recargará hasta 6 veces más rápido y tendrá una vida útil mayor.
- Batería de estado sólido: En lugar de usar litio metal, se utilizará sodio metal con un electrólito cristalizado. Esto ofrecerá mayor capacidad, mayor energía específica, puede funcionar a temperaturas ambiente muy bajas con muy poca pérdida de capacidad de carga, será más barata y además, al utilizar sodio en lugar de litio, no habrá problemas de demanda ni suministro.

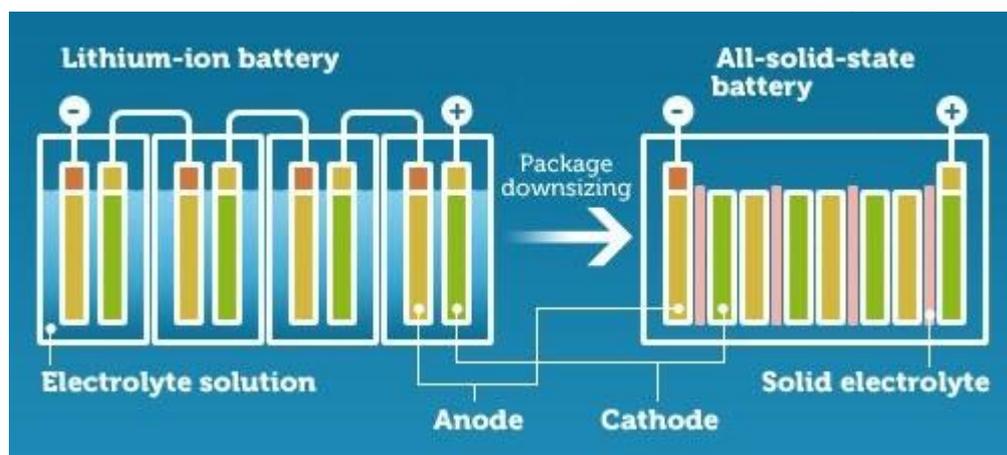


Ilustración 3. Esquema de una batería ion-litio y una de estado sólido.

Fuente: <http://elperiodicodelaenergia.com>



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

Máster en Ingeniería Industrial

Proyecto Fin de Máster – Vehicle to grid (V2G) Services



4. ENERGÍA DE LAS BATERÍAS

En primer lugar, hay que tener claro cuánta energía aporta una batería actualmente para poder hacer los cálculos necesarios y conseguir una idea general de la cantidad de coches que son necesarios para cualquiera de las aplicaciones analizadas.

A lo largo de este trabajo, se utiliza como base el modelo de coche Tesla S, ya que actualmente cuenta con una de las mejores baterías en el mercado. Utiliza un pack de baterías distribuidas en 7.104 celdas, siendo el modelo de batería utilizado la “Panasonic NCR18650B”. Todas las especificaciones de la batería se incluirán en el “Anexo I”, pero se profundizará en algunos detalles para obtener la información necesaria para poder comparar la eficacia de las aplicaciones V2G.

Interesan sobre todo los datos relacionados con la carga y descarga de la batería, ya que se necesitan saber las velocidades de ambas para poder calcular el tiempo y energía necesarios tanto para el usuario como para la aportación a la red.

Carga: Para la carga se tienen diversas opciones. El usuario es el que puede ajustar la velocidad de carga del vehículo (hasta cierta velocidad), sin embargo, Panasonic recomienda que el ratio de carga esté entre 0,5C y 0,25C en función de la temperatura, es decir, que ajustemos la velocidad para cargar totalmente la batería entre 2 y 4 horas (por debajo de los 10°C se recomiendan las 4 horas). También existen supercargadores que son capaces de dar un ratio de carga de 1,5C, consiguiendo una carga completa en unos 40 minutos. Sin embargo, para la realización de este proyecto se tomará en cuenta el caso más desfavorable, alargando así la vida útil de las baterías, que será teniendo en cuenta un tiempo de recarga de 3-4 horas.

Descarga: Este será el aspecto más importante que se estudia. En función de la cantidad de kWh que queramos, se puede aumentar o disminuir la velocidad de descarga. Sin embargo, hay que tener varias cosas en cuenta a la hora de decidir esto, como la

energía restante para que el usuario pueda volver a su casa si el coche está estacionado en el parking del trabajo, si el coche no se prevé usar en todo el día...

En primer lugar, hay que saber que la autonomía del modelo de coche Tesla S es algo superior a 500 km cuando la batería está completamente cargada. Sabiendo esto, se debe tener en cuenta que para los usuarios que utilicen el coche para ir al trabajo (generalmente supone un desplazamiento menor de 50 km, 100 km teniendo en cuenta ambos trayectos), y dejando una autonomía extra en caso de que ocurriera algún imprevisto que requiriera de más energía para el coche para mayores desplazamientos, es conservador pensar en utilizar la mitad de la energía almacenada en la batería como posible aporte para la red.

Para saber la cantidad de energía que podemos entregar, hay que fijarse en la curva de descarga de la batería “Panasonic NCR18650B”:

Discharge Characteristics (by rate of discharge)

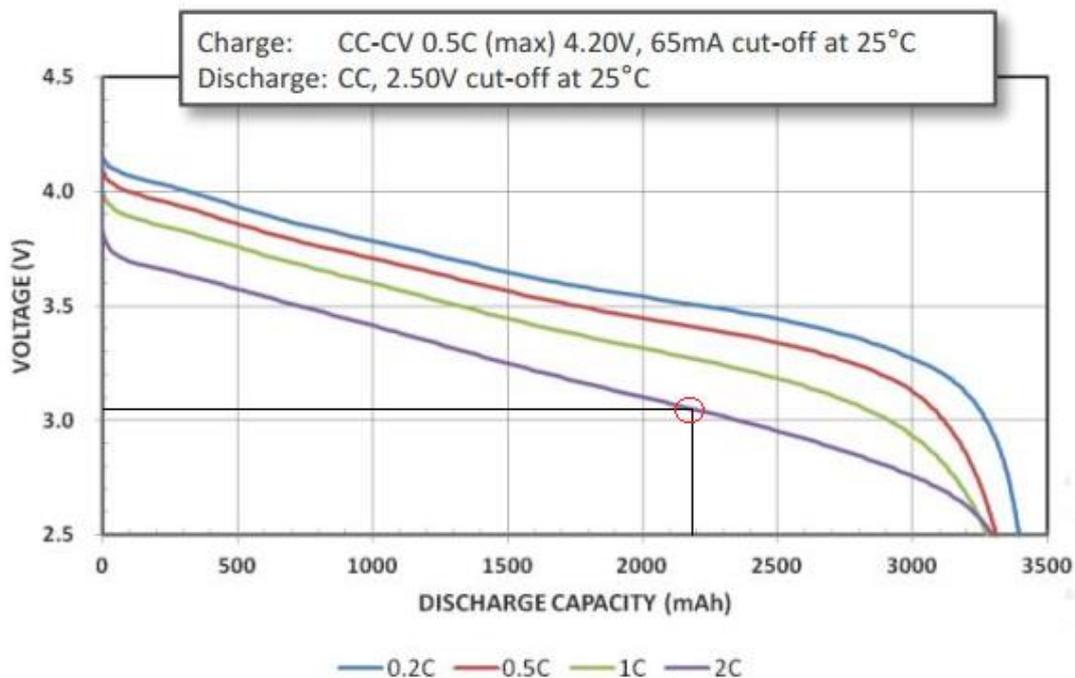


Ilustración 4. Curva de descarga batería Panasonic NCR18650B

Fuente: <https://forocoheselectricos.com/2016/02/la-bateria-panasonic-ncr18650b.html>



Para los futuros cálculos que se realicen para determinar la energía aportada, se tendrá en cuenta el tiempo de entrega. Así el aporte máximo durante 1 hora de estas baterías, escogiendo la curva 2C (descarga de la batería en 2 horas, quedaría la mitad de la capacidad de la batería tras 1 hora de descarga), se obtiene:

$$P = 3,05V * 2.200mAh = 6,71 Wh$$

Esta potencia de 6,71 Wh es la que se consigue de una de las baterías, dado que hay 7.104 celdas, la potencia total de la que se dispone en un coche es de:

$$P = 6,71Wh * 7.104 = 47,77 kWh$$

Cabe destacar que pese a que se puede conseguir una potencia mayor disminuyendo la tensión (y aumentando la intensidad), afectaría a la vida útil y por tanto la capacidad de la batería que viene marcada por el número de ciclos:

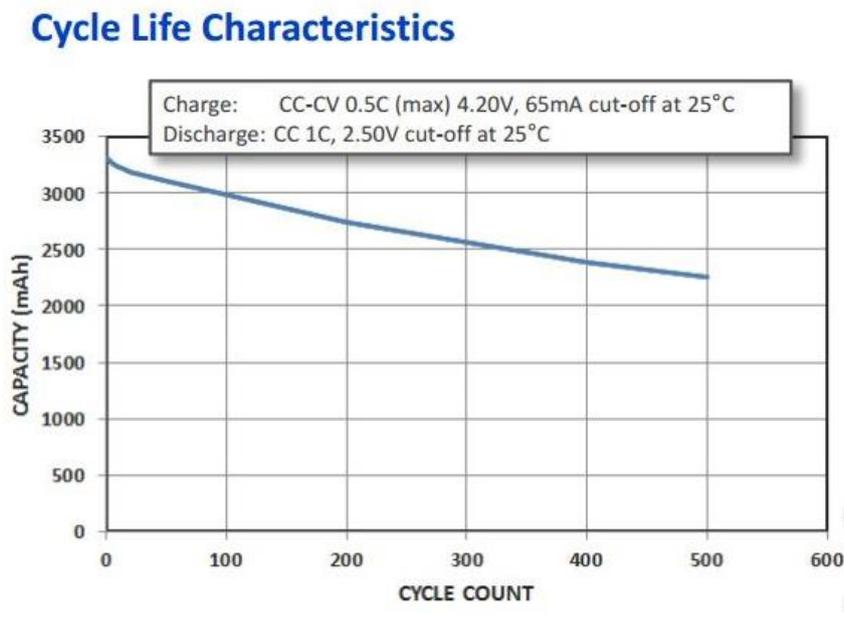


Ilustración 5. Vida útil de la batería Panasonic NCR18650B

Fuente: <https://forococheelectricos.com/2016/02/la-bateria-panasonic-ncr18650b.html>



Como se puede apreciar en la Ilustración 5, con el uso de la batería se reduce la capacidad en la misma. Por lo tanto, para asegurar unos cálculos conservadores, se tendrá en cuenta el mínimo de capacidad, al final de la vida útil.

Por último, podría darse el caso de necesitar una descarga más lenta. Al no disponer de los datos del fabricante, se simulará una curva de descarga similar a las 4 facilitadas por el fabricante de menor tensión.



5. VENTA DE ENERGÍA

La primera aplicación del V2G que se desarrollará en profundidad consistirá en la compra-venta de electricidad utilizando la batería de un vehículo eléctrico como soporte. Se le dará la oportunidad al usuario de poder descargar (vender energía) su coche en horarios de máximo consumo, y por tanto máximo precio, pudiendo volver a cargarlo (comprar energía) durante horas del día en la que el precio de la energía sea más barato.

Este es un servicio al consumidor que indirectamente podría beneficiar al sistema eléctrico también, ya que podrían ser una ayuda a tener en cuenta de cara reducir los picos máximos de demanda sin necesidad de otras centrales (relacionado con el “peak shaving”, que se explicará posteriormente).

Lo primero que se necesita es tener una idea general del precio que podemos encontrarnos de la electricidad en el mercado. A continuación, se mostrará una tabla que recoge datos del 2017, cogiendo tres días dentro de cada mes (los días 1 y 15, más un día cercano al 15 que sea distinto a los otros dos, es decir, fin de semana o entre semana en función de los otros dos), mostrando unos precios cercanos a las máximos y mínimos (para englobar un rango horario mayor), así como la franja horaria en la que se observa este precio. Se observan precios en diferentes momentos del año dependiendo de la estación ya que, por ejemplo, la generación renovable solar no será igual en invierno y en verano, afectando a la producción y por tanto al reparto energético y al precio. Los datos mostrados han sido obtenidos directamente de la página web de la Red Eléctrica de España, recogiendo en el ANEXO II todas las gráficas utilizadas para la recopilación de estos datos:

Día / mes	Precio Mínimo [€/kWh]	Franja horaria Pmin	Precio de la tarde [€/kWh]	Franja Horaria tarde	Precio de la noche[€/kWh]	Franja horaria noche
01 / 01	0,06922	04:00-06:00	0,13991	13:00-16:00	0,15133	19:00-22:00
15 / 01	0,07048	04:00-06:00	0,14891	13:00-16:00	0,17179	19:00-22:00



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

Máster en Ingeniería Industrial

Proyecto Fin de Máster – Vehicle to grid (V2G) Services

16 / 01	0,06565	03:00-05:00	0,15988	13:00-16:00	0,17323	19:00-22:00
01 / 02	0,07882	03:00-05:00	0,15669	13:00-16:00	0,16388	19:00-22:00
15 / 02	0,07072	03:00-05:00	0,14131	13:00-16:00	0,15378	19:00-22:00
18 / 02	0,06186	03:00-05:00	0,14282	13:00-15:00	0,14953	19:00-22:00
01 / 03	0,05845	03:00-05:00	0,13047	13:00-16:00	0,13994	19:00-22:00
15 / 03	0,04607	03:00-05:00	0,12927	13:00-16:00	0,13676	19:00-22:00
18 / 03	0,05712	03:00-05:00	0,12588	13:00-15:00	0,13608	19:00-22:00
01 / 04	0,04341	03:00-05:00	0,11015	13:00-16:00	0,12501	19:00-22:00
15 / 04	0,05816	03:00-05:00	0,12750	13:00-16:00	0,13421	20:00-22:00
17 / 04	0,06277	01:00-03:00	0,13476	13:00-16:00	0,13372	19:00-22:00
01 / 05	0,04477	02:00-04:00	0,12740	13:00-15:00	0,14413	20:00-22:00
15 / 05	0,05956	03:00-05:00	0,13238	13:00-16:00	0,13808	19:00-22:00
20 / 05	0,05880	03:00-05:00	0,13037	13:00-16:00	0,13349	20:00-22:00
01 / 06	0,06454	03:00-05:00	0,13758	13:00-16:00	0,13795	19:00-22:00
15 / 06	0,06420	03:00-05:00	0,13661	13:00-16:00	0,13485	19:00-22:00
17 / 06	0,05645	03:00-05:00	0,13662	13:00-16:00	0,13886	20:00-22:00
01 / 07	0,05626	03:00-05:00	0,13069	13:00-15:00	0,13155	20:00-22:00
15 / 07	0,05456	03:00-05:00	0,13616	13:00-16:00	0,13793	20:00-22:00
17 / 07	0,05724	03:00-05:00	0,13410	13:00-16:00	0,13659	20:00-22:00
01 / 08	0,05683	03:00-05:00	0,13772	13:00-16:00	0,13524	20:00-22:00
15 / 08	0,05688	03:00-05:00	0,12979	13:00-15:00	0,13247	20:00-22:00
19 / 08	0,05310	03:00-05:00	0,13349	13:00-16:00	0,13183	20:00-22:00
01 / 09	0,05354	03:00-05:00	0,13360	13:00-15:00	0,13341	20:00-22:00
15 / 09	0,05184	03:00-05:00	0,13182	13:00-15:00	0,13479	20:00-22:00
16 / 09	0,06095	03:00-05:00	0,13334	13:00-15:00	0,14019	20:00-22:00
01 / 10	0,06121	03:00-05:00	0,13715	13:00-15:00	0,14931	20:00-22:00
15 / 10	0,06300	04:00-06:00	0,13504	13:00-15:00	0,14831	20:00-22:00
17 / 10	0,05943	03:00-05:00	0,14539	13:00-15:00	0,14975	19:00-21:00
01 / 11	0,05692	04:00-06:00	0,14225	13:00-15:00	0,15223	19:00-21:00
15 / 11	0,06394	03:00-05:00	0,15239	13:00-16:00	0,16137	19:00-22:00
19 / 11	0,06838	04:00-06:00	0,14403	13:00-15:00	0,16488	18:00-22:00
04 / 12	0,07201	03:00-05:00	0,16310	13:00-16:00	0,16900	19:00-21:00
18 / 12	0,06242	03:00-05:00	0,15702	13:00-16:00	0,16390	18:00-21:00
23 / 12	0,05508	03:00-05:00	0,14891	13:00-15:00	0,15932	19:00-21:00

Tabla 1. Resumen de precios de la electricidad en el mercado mayorista según la época del año



En el término de facturación de cada día, se tiene una curva de precio para los coches eléctricos (que es distinta al precio de la electricidad de consumo doméstico). Como explicación, la gran diferencia de precio entre las franjas horarias de la mañana y la tarde/noche es debida a la regulación del precio de peaje.

En la tabla 1, los días resaltados en naranja corresponden a días en fin de semana, mientras que en negro están los días entre semana. Se ha hecho esta distinción ya que el consumo es distinto entre semana y en fin de semana, lo que afectará a los casos seleccionados.

A la vista de los valores que se muestran en la tabla 1, se ven claramente definidas 3 franjas horarias. Por un lado, durante la madrugada (siempre entre las 01:00 y las 06:00) el precio de cargar la batería es el más bajo. Sin tener en cuenta estaciones ni tipos de día, la media del precio de madrugada es de $0,05985 \text{ €/kWh}$. Por otro lado tenemos las franjas horarias en las que sale más rentable la venta de la energía, siendo de $0,13818 \text{ €/kWh}$ durante la tarde y de $0,14524 \text{ €/kWh}$ durante la noche. Por supuesto esto es tan solo una media, por lo que se estudiarán distintos casos que pueden darse para resumir el posible beneficio del usuario. Además, la diferencia de precio nocturna entre los meses de invierno (de Noviembre a Febrero) y el resto de meses e hará que el estudio de casos y comparaciones sea más amplio.

5.1 Sin diferenciación de estaciones

En este primer escenario se estudiarán 3 casos distintos sin tener en cuenta las estaciones:

5.1.1 Caso 1: Punto de recarga en casa – buen horario

En este primer caso, se considerará que el usuario dispone de un punto de recarga bidireccional en su casa y que el horario de trabajo del usuario no supone ningún problema



(entre los que se incluyen también todas aquellas personas que no utilizan el coche para ir a trabajar). Es complicado saber con exactitud la cantidad de días en un año que el usuario no podrá utilizar este punto de recarga ya que hay que considerar los días en los que se va de viaje con el coche. Sin embargo, una aproximación conservadora sería considerar 50 días de no utilización (1 mes de verano, Navidades y dos puentes durante el año). Para la cantidad de energía, se utilizará la energía calculada en el apartado 4, es decir, 47,77 kWh. Aunque el precio durante la noche sea más elevado, se hará el cálculo teniendo en cuenta una media ponderada entre los precios de franja nocturna y de tarde, ya que hay que tener en cuenta también planes del usuario, aunque no requieran de desplazamiento largo.

Franja Horaria	Media del precio [€/kWh]
Madrugada	0,05985
Tarde	0,13818
Noche	0,14524

Tabla 2. Precios medios del mercado mayorista por franja horaria para todos los días (anual)

Beneficio en un día:

$$(0,14524 * 0,85 + 0,13818 * 0,15 - 0,05985) * 47,77 = 4,028 \text{ €}$$

Beneficio anual:

$$4,028 * 315 = 1.268,82 \text{ €}$$

5.1.2 Caso 2: Punto de recarga en casa – mal horario

En este segundo caso se tendrá en cuenta un posible usuario que, por motivos de su horario laboral, no puede utilizar el servicio entre semana. Se considerarán los mismos supuestos que el caso 1, pero para una cantidad de días diferente. De los 52 fines de semana que tiene un año, siguiendo la lógica utilizada en el caso 1, contabilizaremos 46



fin de semana disponibles, es decir, 92 días. Además, tendremos unos valores medios distintos ya que sólo se utilizarán los datos de los fines de semana:

Franja Horaria	Media del precio [€/kWh]
Madrugada	0,05925
Tarde	0,13506
Noche	0,14398

Tabla 3. Precios medios del mercado mayorista por franja horaria en fin de semana (anual)

Beneficio en un día:

$$(0,14398 * 0,85 + 0,13506 * 0,15 - 0,05925) * 47,77 = 3,983 \text{ €}$$

Beneficio anual:

$$3,983 * 92 = 366,43 \text{ €}$$

5.1.3 Caso 3: Punto de recarga en la oficina

Para este tercer caso se tendrá en cuenta que el punto de recarga bidireccional se encuentra en el lugar de trabajo del usuario, mientras que en su casa sólo podrá disponer de un punto de recarga convencional. El motivo de estudio de este caso es que la tecnología necesaria para este tipo de punto de recarga bidireccional está aún en desarrollo para optimizarla, por lo que antes de su implantación doméstica a cada usuario, será más fácil realizar las pruebas en un entorno de trabajo asegurándose una flota de coches mínima.

A diferencia de los casos anteriores, en esta ocasión se tendrá en cuenta únicamente el precio de la franja de tarde (y sólo los precios de los días entre semana), ya que es cuando los coches estarán en el espacio de trabajo y por tanto podrán hacer uso del punto de recarga bidireccional. Para el número de días que el coche estará en el espacio



de trabajo, se excluirán los fines de semana y los 36 días de vacaciones que se dan en España (22 laborables más 14 de fiestas), es decir, 225 días.

Franja Horaria	Media del precio [€/kWh]
Madrugada	0,06033
Tarde	0,14068

Tabla 4. Precios medios del mercado mayorista por franja horaria entre semana (anual)

Beneficio en un día:

$$(0,14068 - 0,06033) * 47,77 = 3,838 \text{ €}$$

Beneficio anual:

$$3,838 * 225 = 863,55 \text{ €}$$

5.2 Con diferenciación estacional

Como se puede apreciar en la tabla 1, la mayor diferencia de precio se da por las noches durante el invierno. Cada usuario es distinto, y se puede dar el caso de que el usuario no quiera siempre disponer sólo de media carga de batería y quiera contar con el coche a plena carga. El estudio tiene mayor sentido si se realiza únicamente para el caso del punto de carga bidireccional en casa, ya que se quiere mostrar las ganancias “fijas” que se tendrían en invierno frente a las “variables” de verano.

5.2.1 Caso 4: Punto de recarga en casa – Invierno

La temporada de invierno se considerará desde el mes de Octubre hasta Marzo. Además, se considerará que el usuario tiene un horario de trabajo que le permite hacer uso del punto de recarga cada día, ya que en caso contrario se le daría un uso ínfimo y no merecería la pena la inversión. Para el número de días en este periodo, se tendrá en cuenta



algo más de la mitad de los 315 días calculados en el caso 1, ya que normalmente la gente utiliza sus días de vacaciones en verano. Por lo tanto, se supondrá que el usuario puede utilizar el punto de recarga 175 días.

Franja Horaria	Media del precio [€/kWh]
Madrugada	0,06338
Noche	0,15524

Tabla 5. Precios medios del mercado mayorista por franja horaria anual (invierno)

Beneficios en un día:

$$(0,15524 - 0,06338) * 47,77 = 4,388 \text{ €}$$

Beneficios temporada de invierno:

$$4,388 * 175 = 767,90 \text{ €}$$

5.2.2 Caso 5: Punto de recarga en casa – Verano

La temporada de verano se considerará desde el mes de Abril hasta Septiembre. En este caso se tendrán en cuenta las mismas consideraciones que para el apartado de invierno, ya que se trata de ver cuál es la máxima cantidad de dinero “variable” que el usuario estaría dejando de ganar. Para esta temporada tendremos 175 días también para comparar directamente con la temporada de invierno y la siguiente media de precios:

Franja Horaria	Media del precio [€/kWh]
Madrugada	0,05633
Noche	0,13524

Tabla 6. Precios medios del mercado mayorista por franja horaria anual (verano)

Beneficio en un día:

$$(0,13524 - 0,05633) * 47,77 = 3,769 \text{ €}$$



Beneficio temporada de verano:

$$3,769 * 175 = 659,57 \text{ €}$$

5.3 Resumen de resultados

Caso de estudio	Beneficio en un día [€]	Beneficio anual/temporada [€]
C1: R. en casa – Buen horario	4,028	1.268,82
C2: R. en casa – Mal horario	3,983	366,43
C3: Recarga en oficina	3,838	863,55
C4: R. en casa – Invierno	4,388	767,90
C5: R. en casa – Verano	3,769	659,57

Tabla 7. Resumen resultados obtenidos para cada escenario y caso

En primer lugar, pese a que aún no se dispone de un precio de venta del punto de recarga bidireccional, para todos aquellos usuarios que por su trabajo no puedan hacer uso del servicio entre semana, lo más probable es que no les salga rentable adquirir uno, sobre todo por la comparación con el resto de los casos.

En segundo lugar, se puede ver que para aquellos usuarios que tienen la posibilidad de hacer uso del punto de recarga siempre que quieran, obtendrán los mayores beneficios. Esto también es así, aunque se separe por estaciones, ya que solamente su utilización en invierno resulta en considerables beneficios.

Sin embargo, el mejor uso que podría darse a este servicio sería utilizándolo en el espacio de trabajo, por 2 motivos. El primero es que al ser una tecnología que está aún en proceso de implantación, optimización y prueba, a corto plazo será más probable que exista un lugar en el que se concentren un mayor número de coches. El segundo motivo está relacionado con la flota de coches. La energía aportada por los coches debería ser lo más constante posible para que se puede tener en cuenta a la hora de su despacho seguro,



o para conocer de cuánta energía se puede disponer realmente en caso de una emergencia. Esto se consigue más conociendo que los coches no se utilizarán durante las horas de trabajo y por tanto que se podrá disponer con seguridad de esta energía.

En conclusión, desde el punto de vista del usuario la mejor opción sería poder disponer de un punto de recarga bidireccional en su casa, y desde un punto de vista del sistema l y óptimo para todos, que se implantaran en los espacios de trabajo.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

Máster en Ingeniería Industrial

Proyecto Fin de Máster – Vehicle to grid (V2G) Services



6. PEAK SHAVING

El objetivo principal del “peak shaving” es utilizar una fuente de electricidad alternativa para que las compañías no tengan que construir, mantener y cobrar al consumidor por una planta de producción que está inactiva durante casi todo el año y solo funciona en momentos de máxima demanda. Este tipo de plantas son aquellas capaces de ponerse en marcha y apagarse rápidamente, normalmente más caras que el resto de plantas.

Por tanto, solucionar los picos de demanda mediante el uso de la energía almacenada en los vehículos traería una serie de ventajas económicas tanto a empresas como a consumidores:

- Ahorro en las facturas de consumidores por la reducción del pico de demanda (directamente relacionado con la primera aplicación de este proyecto).
- Al reducir el funcionamiento intermitente de las plantas de pico (ahorrando en costes de arranque y parada, y mantenimiento), se reduce el coste extra de estas.
- Retraso y mayor utilización en inversiones en infraestructura gracias a menores picos en la demanda.

Sin embargo, aún hoy existen limitaciones importantes. Se necesitará una inversión importante en puntos de recarga para poder implantar este tipo de servicios tanto desde los vehículos aparcados en la calle o en espacios de trabajo como aparcamientos domésticos.

Se valora ahora los potenciales ahorros que se podrían realizar en mercado eléctrico por el aporte de la energía de los coches.

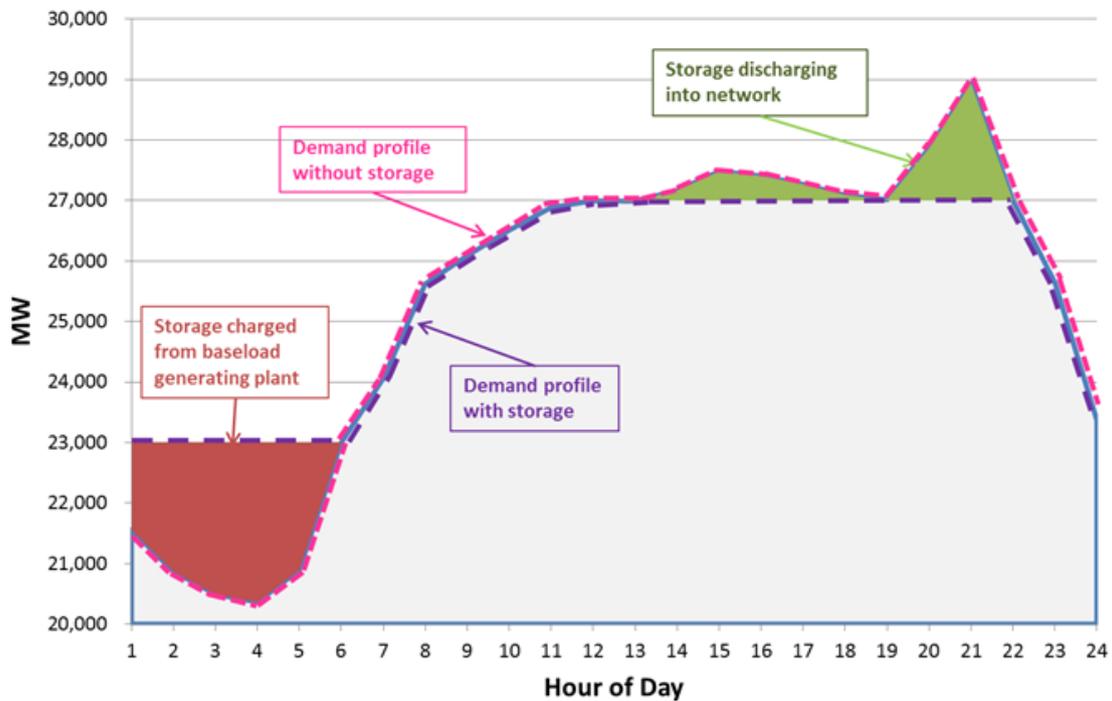


Ilustración 6. Ejemplo de Peak Shaving

Fuente: <http://energyclub.stanford.edu>

La ilustración 6 muestra un ejemplo de peak shaving. Se pretende hacer un mayor uso de las instalaciones durante las horas de madrugada y utilizar la energía almacenada en estas horas durante los momentos en los que el pico de demanda sea mayor para no tener que recurrir a centrales de punta más caras.

Esta sección se divide en 3 partes. Se determina una cantidad de energía razonable para aportar a la red, y con ello se calcula una flota de coches necesaria para cubrirla. Se analiza cómo afecta dicha cantidad en el precio del mercado de manera aproximada. Finalmente, se evalúan las consecuencias económicas.



6.1 Flota de coches necesaria

En una primera aproximación de rango de unidades con el que presar el servicio, se estima la cantidad de coches que son necesarios para poder ofrecer 1.000 MWh durante 3 horas (ajustable a 1.500 MWh durante 2 horas y otras diversas combinaciones), cantidad significativa en el sistema español para que el precio pueda verse afectado. Se utilizan los mismos valores que en los apartados anteriores, es decir, cada coche es capaz de entregar 47,77 kWh durante 1 hora.

$$\frac{1.000 * 10^3}{47,77} * 3 \text{ horas} = 62.800 \text{ coches}$$

A la vista de este resultado, cabe destacar que actualmente en España hay aproximadamente 27.000 vehículos eléctricos, creciendo a un ritmo en este 2018 de aproximadamente 900 vehículos cada mes. Esto significa que se necesitarán 4 años para llegar a la cantidad requerida si las ventas de VE continúan a este ritmo, aunque se necesitará más tiempo ya que no todos los vehículos estarán disponibles y conectados a la red. Sin embargo, las previsiones indican que cada vez el porcentaje de venta de vehículos eléctricos será mayor, a lo que hay que sumar que actualmente no se dispone de la infraestructura necesaria, por lo que si se decidiera poner en marcha esta iniciativa, serían necesarias más ayudas del Estado para la financiación del coche eléctrico.

6.2 Variación del precio de la energía en el mercado

Para calcular la variación del precio de la electricidad se deben tener en cuenta varios factores, algunos difíciles de cuantificar.

Por un lado, desde el punto de vista del usuario se encuentra una situación similar a la propuesta en el apartado 5. Gracias al peak shaving se reducirá el precio de la energía en los momentos más caros del día.

Por otro lado, hay que ver el efecto que tiene en el mercado y para las empresas. Las empresas podrían ver reducidos sus ingresos al caer el precio de punta. Para el mercado, esta solución ofrece principalmente dos beneficios: se necesitaría menos energía generada de centrales para cubrir exclusivamente el pico de demanda y la red se vería menos comprometida por los picos de demanda.

Se puede hacer una estimación de la variación del precio de la energía en el mercado.

Utilizaremos las curvas agregadas de oferta y demanda, con las cuales se determina un precio. El peak shaving es equivalente a reducir la energía demandada en punta, resultando una oferta distinta y más baja a la que ofertaría el mercado sin la energía almacenada.

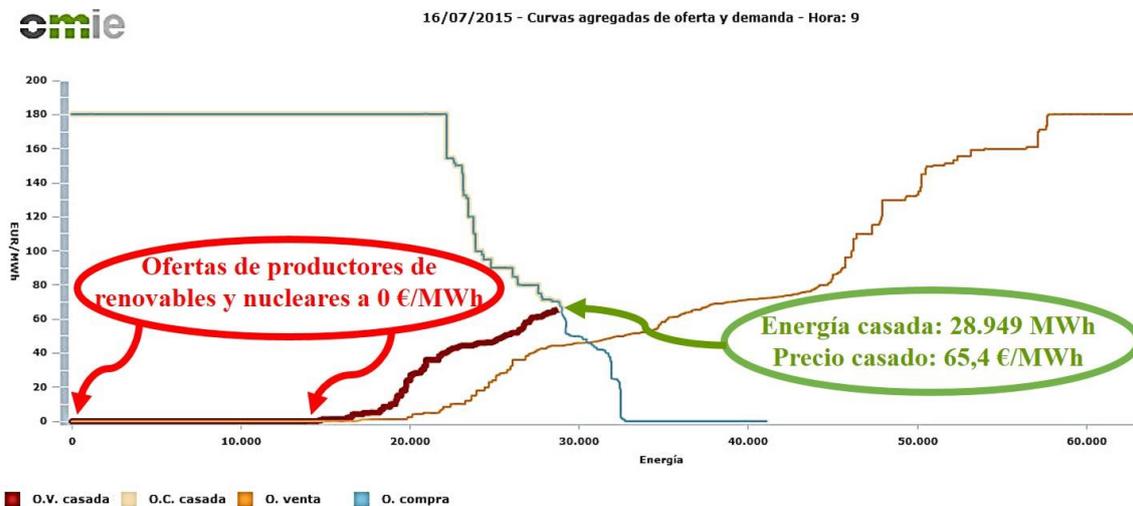


Ilustración 7. Ejemplo de las curvas agregadas de oferta y demanda

Fuente: OMIE

En la ilustración 7 se muestra un ejemplo del precio que el mercado ofrecería sabiendo la demanda y la oferta. Sin embargo, estos datos no se pueden encontrar directamente en la OMIE, y por tanto conseguir el gradiente que nos hiciera deducir el precio tras reducir/aumentar una cantidad de energía demandada en función del momento del día. Por lo tanto, se cogerán días significativos en invierno y verano (distinción por



temporadas ya que la demanda varía significativamente, siendo la demanda de invierno bastante mayor que la de verano y por tanto haciendo uso de centrales de generación más caras) para ver el gradiente de esos días. Los días se escogen de entre aquellos días en que la variación de precio sea más extrema, ya que son los días en los que ese crecimiento del pico de demanda es más significativo. Para calcular el gradiente de precio en invierno, los días escogidos son el 15, 17 y 22 de Enero del 2018, para contar con los datos más recientes y así asemejar el precio estimado al que podría ser actual. Análogamente, para verano se escogen los días 19 23 y 25 de Junio del 2018. Se adjuntan en el Anexo III las gráficas de demanda de estos seis días para apreciar los picos de demanda con los que se ha decidido trabajar.

Para calcular el gradiente de precio de esos días (la cantidad en euros por cada MWh de diferencia), se utilizan los datos proporcionados por la web de OMIE, desde la que se comprueba en las gráficas de precio de mercado diario cómo varía el precio en función de la energía negociada. Aunque esta energía es ligeramente distinta a la real, sirve para determinar un precio aproximado. Las gráficas desde las que se extraen todos los datos se adjuntan en el Anexo IV.

- **Invierno:**

Se cogen gradientes de subida y bajada para tener un gradiente lo más genérico posible para la mañana y la tarde respectivamente:

Fecha	Potencia 1 [MWh]	Precio 1 [€/MWh]	Potencia 2 [MWh]	Precio 2 [€/MWh]	Gradiente de precio [€/MWh]
15/01 – mañana	20.541,2	45,69	35.436	66,01	0,00136
17/01 – mañana	25.004	35,45	34.917,8	61,59	0,00264
22/01 – mañana	22.368,3	40,2	34.073,3	60,79	0,00176
					0,00192

Tabla 8. Gradiente del precio para la subida de energía en invierno por la mañana



Fecha	Potencia 1 [MWh]	Precio 1 [€/MWh]	Potencia 2 [MWh]	Precio 2 [€/MWh]	Gradiente de precio [€/MWh]
15/01 - tarde	36.072,2	65,03	34.296,8	56	0,00509
17/01 - tarde	36.005,8	61,59	33.340,8	54,73	0,00257
22/01 - tarde	34.696,3	60,01	32.538,1	52,16	0,00364
					0,00377

Tabla 9. Gradiente del precio para la bajada de energía en invierno por la tarde

A la vista de los resultados, el gradiente será mayor por la tarde al reducir. Esto tiene sentido ya que a esas horas se está haciendo uso de centrales de generación únicamente para ese momento y por tanto más caras.

- **Verano:**

De igual manera que para invierno, se calculan gradientes de subida de precio para la mañana y de bajada de precio para la tarde:

Fecha	Potencia 1 [MWh]	Precio 1 [€/MWh]	Potencia 2 [MWh]	Precio 2 [€/MWh]	Gradiente de precio [€/MWh]
19/06 – mañana	22.283,3	42,6	29.735,4	59,29	0,00224
23/06 – mañana	19.672,7	51,02	26.866,1	60,17	0,00127
25/06 – mañana	19.875,7	52,87	29.739,4	64,24	0,00115
					0,00155

Tabla 10. Gradiente del precio para la bajada de energía en verano por la mañana



Fecha	Potencia 1 [MWh]	Precio 1 [€/MWh]	Potencia 2 [MWh]	Precio 2 [€/MWh]	Gradiente de precio [€/MWh]
19/06 – tarde	29.800,6	60,3	26.663,1	59,01	0,00041
23/06 – tarde	28.535,8	60,4	26.424,6	59,19	0,00057
25/06 – tarde	31.824,6	63,8	30.040	63,05	0,00042
					0,00047

Tabla 11. Gradiente del precio para la bajada de energía en verano por la tarde

Analizando los gradientes, se ve que por la mañana se obtiene un gradiente muy similar al de invierno, lo cual era de esperar ya que las centrales que producen esos mínimos matutinos serán las mismas. Sin embargo, se observa que por la tarde la variación de precio es menor. Esto se debe a que al alcanzar un máximo de demanda menor que en invierno, no llegan a actuar las centrales más caras.

Estos gradientes son más fieles a la realidad cuanto más cerca estamos de los picos de demanda, pero se considera que son válidos en todo el intervalo en el que se considera toda la carga/descarga de energía a las baterías.

Se dividen los meses de verano e invierno tal y como se hizo en el apartado 5.

Si se dispone de 62.800 coches, se puede disponer de 3.000 MWh al día en total para distribuir. Además, debido a la diferencia de gradientes entre invierno y verano es interesante observar por separado estas temporadas:

- **Invierno:**

Aumento del precio de la mañana $\rightarrow 1.000 * 0,00192 = 1,92 \text{ €}$

Reducción del precio de tarde $\rightarrow 1.000 * 0,00377 = 3,77 \text{ €}$



- **Verano:**

Aumento del precio de la mañana $\rightarrow 1.000 * 0,00155 = 1,55 \text{ €}$

Reducción del precio de tarde $\rightarrow 1.000 * 0,00047 = 0,47 \text{ €}$

El precio de cada una de estas 4 situaciones es el valor se puede sumar (al precio de la mañana) y restar (al precio de la tarde) durante 3 horas. Es decir, se puede distribuir la energía de una manera más continuada (en vez de estar agrupada en 3 horas). Por ejemplo, para la tarde en invierno se puede conseguir una disminución del precio de 2,26 €/MWh durante 5 horas. Todo depende de la cantidad de tiempo que interese distribuir la energía de las baterías.

Se puede apreciar que aplicar este servicio sale rentable tan solo en invierno, donde las elevadas demandas de energía hacen trabajar a centrales más caras.

Para ver el impacto que tiene en un día, se distribuye en aumento y reducción de precio considerado para 24 horas del día, en lugar de solo para 3. Esto significa que en invierno, el precio medio de cada día se reduce en:

$$\frac{3,77 * 3}{24} - \frac{1,92 * 3}{24} = 0,23125 \text{ €/MWh}$$

Sin embargo en verano se ve un pequeño incremento de precio medio diario:

$$\frac{1,55 * 3}{24} - \frac{0,47 * 3}{24} = 0,13500 \text{ €/MWh}$$

Durante el invierno este servicio nos permite reducir el precio medio diario de la energía mientras que en verano lo aumenta. La solución idónea desde el punto de vista del mercado sería utilizarlo únicamente durante los meses en los que la demanda es tan alta que se hace uso de las generaciones más caras. Sin embargo, aplicar el servicio durante todo el año sigue siendo rentable:



$$\frac{0,23125 * 6}{12} - \frac{0,13500 * 6}{12} = 0,04813 \text{ €/MWh}$$

Si se utiliza durante todo el año, la media del precio diario se reduce en 0,04813 €/MWh.

6.3 Conclusiones

Según el punto de vista, este servicio puede ser:

- Desde el punto de vista de las empresas:
 - Sus ingresos se ven reducidos directamente por la reducción del precio medio del mercado mayorista.

- Desde el punto de vista del consumidor:
 - Se aplique sólo durante el invierno o durante todo el año, ve reducida su factura de la luz y por lo tanto se ve beneficiado.

- Desde el punto de vista del mercado:
 - El mercado eléctrico ve reducido su precio medio en ambas situaciones (aplicación del servicio solo en invierno o durante todo el año), por lo que se ve directamente favorecido.
 - Indirectamente, hay además otros ahorros que son más difíciles de cuantificar. Entre ellos se encuentran el menor coste de mantenimiento de las centrales por hacer que no estén dando el máximo de sus capacidades y el retraso de inversión en la distribución de la energía.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

Máster en Ingeniería Industrial

Proyecto Fin de Máster – Vehicle to grid (V2G) Services



7. SOPORTE A ENERGÍAS RENOVABLES

Las energías renovables son un gran recurso para conseguir energía. Sin embargo, también es cierto que tienen un problema crucial: no son 100% predecibles. Al contratar potencia de una fuente renovable, se corre el riesgo de que haya sobreproducción o que se produzca menos energía de la estimada. Cualquiera de los casos supone un coste añadido: producir menos energía hace que haya que poner en marcha otras plantas de producción de energía (con el coste que ello conlleva, más la multa a la planta incapaz de generar la energía que había prometido), mientras que producir más energía de la ofertada hace que se pierda ese exceso (coste en pérdidas directa).

A pesar del problema de irregularidad que pueden presentar las energías renovables, son un gran recurso económica y ecológicamente hablando. Por ello, el almacenamiento de la energía en las baterías puede ser una solución a este problema. Cuando haya sobreproducción, la energía se desvía a las baterías para no malgastar la generación, y cuando se esté produciendo menos de lo ofrecido, se descargarán para compensar la energía necesaria.

Para comprobar la utilidad de este servicio se debe calcular si es más rentable el precio que debemos pagar para compensar la energía que falta en caso de no llegar a la energía que ofrece el recurso (comprar energía al mercado) y el dinero que se pierde por sobreproducción, o un contrato de baterías y disponer de ese almacenamiento.

Para elegir qué energía renovable sería la más adecuada para hacer uso del servicio, se observa la combinación entre cantidad de producción y mayor desvío con respecto a la energía ofertada. A la cabeza se encuentra la energía eólica, recurso muy utilizado en España con un desvío medio diario del 5 %. Actualmente la generación eólica tiene la ventaja de contar con el “área de regulación” por empresas, que compensa los desvíos aquí en España, por lo que se estudiará el impacto de este servicio considerando que este no existe.



Para escoger el precio del contrato de baterías, se debe tener en cuenta también la perspectiva del usuario del coche. A diferencia de las aplicaciones discutidas anteriormente, en esta ocasión las baterías se utilizan para comprar o vender energía independientemente de la hora, sin atender al precio de mercado. Esto significa que para que acepten un servicio de este tipo, lo idóneo será ofrecer un contrato de baterías por el que se les paga una cantidad fija a cambio de disponer de su coche de la manera más conveniente en función de la generación de la energía renovable y del precio del mercado. De esta manera, los usuarios se asegurarán una cantidad de dinero fija.

7.1 Coste de los desvíos en la programación de energía eólica

El coste de la generación de energía eólica es cada vez menor. Ha seguido esta tónica ya durante varios años, y se espera que siga así.

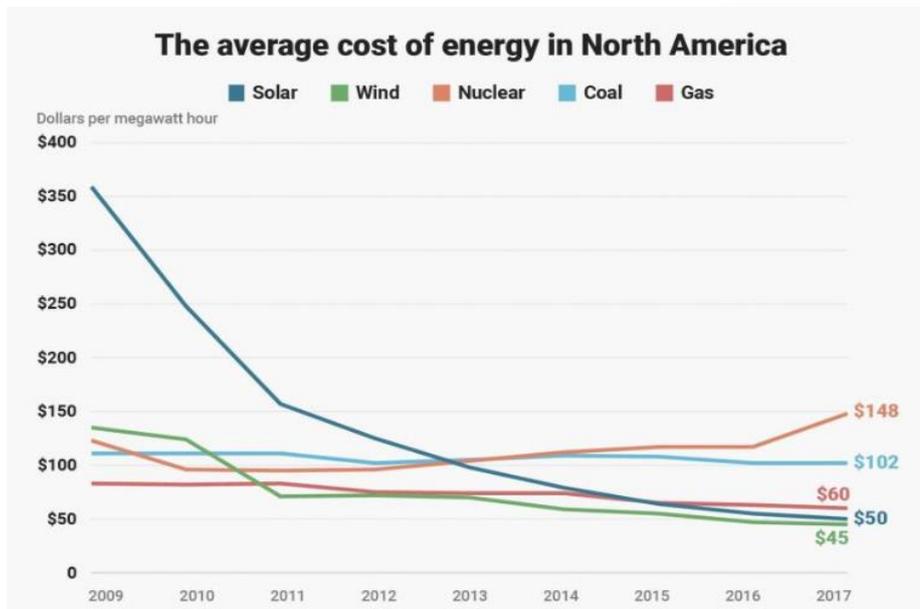


Ilustración 8. Coste medio de distintos tipos de energía en América

Fuente: Lazard levelized cost of energy analysis



Actualmente el full cost de producción de la energía eólica es aproximadamente de 38 €/MW. A la vista de la gráfica mostrada en la ilustración 6, se observa cómo se ha reducido el precio de la energía eólica en tan solo 8 años. Si se compara con los 86 €/MW que cuesta el carbón, se ve la gran diferencia que hay económicamente, además de ser mucho más ecológica. Según un informe de IRENA (International Renewable Energy Agency), el precio de este tipo de energía puede reducirse hasta los 30 €/MW para el año 2020.

Por un lado, esto significa que habrá menos desvíos en cuanto a la energía malgastada en generación excesiva, pero por otro lado esto hará que la cantidad de energía generada vaya en aumento con la creación de nuevas plantas, por lo que el sistema de baterías puede ser un gran aliado cuando se cuenta con cantidades tan grandes de energía que pueden ser impredecibles.

Por otra parte, para comprar la energía necesaria por falta de producción se utilizaría el propio precio de mercado, observable en las curvas de precio diarias de la OMIE.

Utilizando los datos anuales del 2017 para suponer un consumo medio diario durante todo un año, se obtiene un resultado de unos 5.365 MWh generados de energía eólica (en el año 2017 se generaron más de 47 TWh en España). Para saber más adelante la flota de coches necesaria, cabe destacar que el mes en el que se produjo mayor generación fue en Marzo, cuya de generación fue de 8.333 MWh.

En primer lugar, habría que ver el coste de las pérdidas en caso de que existiera un 5% de desviación de producción, ya que es el caso más extremo con el que nos podemos encontrar. Sin embargo, esto puede resultar algo inexacto ya que además de no tener que llegar siempre a esa cantidad de desvío, habrá veces que el desvío sea por exceso. Por lo tanto, un porcentaje adecuado de desvío puede ser del 3% con respecto al total de la generación:



$$5.365 * 0,03 = 160,95 \text{ MWh cada hora}$$

$$47 * 10^6 * 0,03 = 1.410,000 \text{ MWh totales en un año}$$

Suponiendo que el desvío se produce a lo largo de todo el día, para calcular el coste de comprar la energía al mercado se utilizará la media de precio mensual del año 2017. Se añadirá la curva de precio en el Anexo V, de cuya gráfica se ha obtenido un precio medio anual de 52,21 €/MWh:

$$\text{Pérdidas cada hora: } 187,74 * 52,21 = 8.403,2 \text{ €}$$

$$\text{Pérdidas anuales: } 1.410,000 * 52,21 = 73,61 \text{ M€}$$

7.2 Flota de coches necesaria

En el apartado anterior se ha supuesto para el caso económico más extremo que había un déficit de producción del 3% durante todo el año. Sin embargo, lo más acertado a la hora de calcular el número de coches disponibles es contar con un desvío del 5% durante 2 horas seguidas (ya que no olvidemos que también podríamos comprar energía en caso de ser insuficiente esta cantidad de almacenaje en caso de que se prolongue el déficit). Este día “medio” se coge del mes de Marzo, ya que es el mes en el que nos encontraremos la desviación más grande:

$$8.333 * 2 = 16.666 \text{ MWh}$$

Para poder cubrir esta cantidad de energía almacenada, harán falta:

$$\frac{16.666 * 10^3}{47,77} = 348.880 \text{ coches}$$



7.3 Contrato de baterías

Para proponer un contrato adecuado, se debe ver el dinero que se ahorra al disponer de cada uno de los coches, dividiendo las pérdidas anuales entre el número de coches:

$$\frac{73.610,000}{348.880} = 211 \text{ €/coche}$$

La empresa también debe participar en las ganancias del servicio, por lo que se puede ofrecer un contrato de 168,8 € anuales. De esta manera la empresa ahorrará un 20% de las pérdidas a cambio de las baterías.

7.4 Conclusión

El impacto económico de aplicar V2G a este servicio, debido a la incertidumbre para saber la generación y las altas cantidades generadas de este tipo de recurso, es muy complicado de predecir. Sin embargo, con unas suposiciones a priori desventajosas aún se pueden predecir beneficios tanto para la empresa que usara este servicio como para los clientes.

El ahorro de las empresas es considerable, ya que podrían ahorrarse unos 14,72 M€ (distribuidos entre todas ellas ya que esto pertenece a toda la generación eólica de España).

Desde el punto de vista del usuario, el beneficio es menor que en los servicios anteriores. El pago de 168,8 € al usuario puede ser más o menos atractivo dependiendo de lo restrictivo que sea el contrato firmado.



Sin embargo, de una manera u otra todos los servicios V2G están relacionados, por lo que la comparación directa de precios es complicada. En el apartado 8 de “conclusiones generales” se tratará de conectar todos ellos dando una visión personal.



8. CONCLUSIONES GENERALES

A la hora de sacar conclusiones en cuanto a la rentabilidad de la implementación de alguno de estos servicios, hay que tener siempre en cuenta todas las suposiciones que se han hecho.

El estudio de cada una de las posibles aplicaciones es independiente del resto. Sin embargo, al estar relacionadas significa que si se pretende hacer uso de distintos servicios a la vez, las variaciones en el mercado serán distintas. Por ejemplo, si se decide aplicar la energía de las baterías para hacer peak shaving, al aumentar los precios de la mañana y disminuir el de la tarde, los beneficios que el usuario puede obtener serán menores que el calculado en el apartado de compra-venta de energía. Además, se ha considerado la situación actual de España en cuanto a cantidad de vehículos que pueden hacer uso de este tipo de servicios y previsión de ventas. Por último, no se ha considerado el coste o dificultad de implementar puntos de recarga bidireccional.

Para la aplicación del servicio de compra-venta manejada únicamente por el usuario, se ha visto que pese a que hay varias opciones, la que más adecuada de cara a un plan a largo plazo es utilizar puntos de recarga colocados en los espacios de trabajo, donde se pueden llegar a obtener unos beneficios de 863,55 € al año.

El motivo por el que es a largo plazo es que este servicio puede utilizarse como paso previo para llegar a implementar el servicio de peak shaving. Actualmente España tiene el problema de la cantidad de coches disponibles para conectar a la Red Eléctrica. Sin embargo, si se promueve inicialmente el servicio de compra-venta impulsando así la compra de este tipo de vehículos, se podrá hacer una transición natural al peak shaving fácilmente. Los usuarios continuarían utilizando las puntos de recarga de las oficinas en el mismo horario, por lo que no afectaría a su vida diaria. Esta transición hará que el precio del mercado se redujera de media diaria alrededor de 0,04813 €/MWh, aunque



estaría focalizado en cantidades mayores en la madrugada como incremento de precio y en las horas de máxima demanda como reducción de precio.

Para el servicio de peak shaving se ha supuesto una flota necesaria de alrededor de 62.800 coches, y cabe destacar que este servicio admite un número máximo de coches. Habrá una cantidad de vehículos que haga que la adición de uno más suponga encarecer el precio total. Esto se debe a que además de que se va aumentando el precio del mercado mayorista en la franja horaria de la madrugada en mayor medida que la reducción de precio de la tarde cuanto mayor número de coches, ya en verano la demanda máxima no es suficiente como para que el almacenaje de energía sale rentable.

Es por ello que puede y deberá complementarse con otro tipo de servicios a medida que en un futuro vaya habiendo mayor cantidad de usuarios con vehículos eléctricos que deseen utilizar estos servicios.

Un ejemplo de servicio complementario sería utilizar la energía como servicio para dar soporte a energías renovables. El estudio realizado ha determinado que para dar un apoyo adecuado a la generación eólica actual de España harán falta alrededor de 348.880 vehículos eléctricos más (además de los necesarios para el peak shaving). Además, el beneficio para el usuario sería menor que para el peak shaving, de 168.8 € anuales.

A medida que vaya aumentando el número de coches eléctricos y por tanto dando uso a otros servicios, habrá que buscar maneras de incentivar a la gente para que siga optando por este tipo de vehículos, ya que la diferencia de beneficios entre 863 € y 168 € en función del servicio prestado es demasiado grande

En este proyecto se abarca tan solo el estudio de 3 de los servicios posibles del V2G. Hay más servicios que podrían ofrecer mayor beneficio para el usuario. Además, llegada a una cantidad de coches que hagan que se sature el mercado de los servicios es de esperar que el coste inicial del coche sea suficientemente bajo para cambiar a condiciones de mercado más favorable.



En conclusión, los desarrollos futuros del V2G dependen en gran medida de la evolución tecnológica y numérica de los vehículos eléctricos, y serán estas condiciones las que determinen si el V2G se convierte en una realidad prometedora.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

Máster en Ingeniería Industrial

Proyecto Fin de Máster – Vehicle to grid (V2G) Services



9. ESCALABILIDAD Y REPLICABILIDAD

El estudio de aplicar V2G que se ha hecho a lo largo de este trabajo ha estado basado en las condiciones y precios de España. También considerando la actualidad de los vehículos eléctricos existentes y teniendo en cuenta la tendencia del mercado automovilístico español para poder pensar en que puede ser un servicio interesante y rentable.

Si se quiere extrapolar al resto de países del mundo, hay que tener en cuenta todas las bases desde las que se ha partido. En el caso de que se quisiera saber si implementar los servicios propuestos en este proyecto sale rentable, los principales datos que hay que tener en cuenta son el mix energético del país y cantidad de coches eléctricos junto con la tendencia del crecimiento de este tipo de vehículos del país estudio.

A continuación se muestra una lista con los 10 países que cuentan hoy en día con mayor número de coches eléctricos. Las necesidades energéticas dentro de cada país son distintas, por lo que el que exista mayor flota de coches eléctrico no garantiza que ya se haya cubierto la energía de almacenamiento necesaria para cubrir el pico de demanda a la hora de hacer peak shaving por ejemplo. Se incluye también el número de veces que el consumo del país es mayor/menor que el de España en función de los datos ofrecidos por “indexmundi” para el año 2017 para dar significado al número de coches. Por tanto, se añade una última columna en la que se indica el número de coches que deberían tener los países para cubrir el peak shaving y así ver qué países estarían en condiciones poner en uso este servicio:



País	Número de coches eléctricos	Energía ¹ - N° veces mayor que la de España	Coches Eléctricos necesarios
China	645.708	25,29915	1.588.786
Estados Unidos	570.187	16,70940	1.049.350
Japón	147.000	3,99145	250.663
Noruega	135.276	0,56880	35.720
Holanda	113.636	0,51111	32.098
Francia	108.065	1,77479	111.457
Reino Unido	91.627	1,32051	82.928
Alemania	74.754	2,26752	142.400
Suecia	30.513	0,54188	34.030
Canadá	27.392	2,25641	141.702

Tabla 12. Número de coches eléctricos a principios de 2017

A la vista de los resultados de la tabla 12, vemos que, suponiendo que la curva de demanda en esos países es similar a la de España en forma, hay 5 países que tendrían suficientes vehículos para poner en práctica los servicios V2G (concretamente peak shaving). En especial Noruega y Holanda. Ambos países tienen una flota de coches eléctricos muy superior a la que necesitarían únicamente para el peak shaving, por lo que podrían utilizar el resto de vehículos para otro tipo de aplicaciones.

¹ El número de la columna de energía en la tabla 12 se ha sacado en base a los 234 miles de millones de kWh que se consumieron en España en 2017.



10. BLIOGRAFÍA

- ABB. (s.f.). Obtenido de <https://new.abb.com/distributed-energy-microgrids/applications/energy-storage-applications/peak-shaving>
- Berke, J. (20 de Mayo de 2018). *Business Insider*. Obtenido de <https://www.businessinsider.es/producir-energia-solar-cada-vez-es-mas-barato-pero-espana-ponemos-impuestos-sol-251948>
- El pitufo volador, apuntes de aerodelismo*. (s.f.). Obtenido de http://aerodelismo.epiel.com/c_baterias.html
- eléctricocar*. (s.f.). Obtenido de <http://www.electricocar.es/>
- Fernandez, S. (23 de 02 de 2016). *Forococheelectricos*. Obtenido de <https://forococheelectricos.com/2016/02/la-bateria-panasonic-ncr18650b.html>
- Fernández, S. (2 de Febrero de 2017). *Foro coches eléctrico*. Obtenido de <https://forococheelectricos.com/2017/02/top-10-de-los-paises-que-mas-coches-electricos-han-vendido-en-2016.html>
- García Martínez, G. (7 de Junio de 2018). *movilidadeléctrica.com*. Obtenido de <https://movilidadeléctrica.com/ventas-de-vehiculos-electricos-en-mayo-de-2018/>
- García Martínez, G. (3 de Mayo de 2018). *movilidadeléctrica.com*. Obtenido de <https://movilidadeléctrica.com/siguen-creciendo-las-matriculaciones-de-vehiculos-electricos-en-espana/>
- Gil, J. (11 de Mayo de 2016). *Híbridos y eléctricos*. Obtenido de <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/sector/sistema-vehiculo-conectado-red-v2g-hace-realidad/20160511210442011985.html>
- Index Mundi*. (s.f.). Obtenido de <https://www.indexmundi.com/>
- IRENA. (13 de Enero de 2018). Obtenido de <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Press-Release/2018/Jan/La-energia-elica-terrestre-es-ahora-tan-barata-como-cualquier-otra-fuente.pdf?la=en&hash=825A4CC3B83540CDD615EC691DB928138CFB829F>
- netfficient-project.eu*. (Marzo de 2017). Obtenido de <http://netfficient-project.eu/use-case-1/>
- Recuenco, P. (1 de Agosto de 2014). *Autofacil*. Obtenido de <https://www.autofacil.es/industria/2014/08/01/coches-hay-mundo-habra/19772.html>
- REVE. (3 de Enero de 2018). *evwind*. Obtenido de <https://www.evwind.com/2018/01/03/la-energia-eolica-en-2017-ha-sido-la-segunda-tecnologia-del-sistema-energetico-espanol/>
- Roca, J. A. (7 de Septiembre de 2015). *El periódico de la energía*. Obtenido de <https://elperiodicodelaenergia.com/la-energia-solar-a-gran-escala-en-espana-ya-es-mas-barata-que-los-precios-mayoristas-de-la-electricidad/>
- Roca, R. (29 de Marzo de 2018). *El periódico de la energía*. Obtenido de <https://elperiodicodelaenergia.com/espana-pulveriza-todos-los-records-de-renovables-en-marzo/>
- Sistema de Información de Operador del Sistema, Red Eléctrica de España*. (s.f.). Obtenido de <https://www.esios.ree.es/es>
- Smart grids info*. (9 de Mayo de 2017). Obtenido de <https://www.smartgridsinfo.es/2017/05/09/primeras-instalaciones-recarga-electrica-v2g-italia>
- Wikipedia*. (s.f.). Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/V2G>
- YUBA. (31 de Marzo de 2015). Obtenido de <http://www.yubasolar.net/2015/03/factores-de-perdidas-energeticas.html#>



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

Máster en Ingeniería Industrial

Proyecto Fin de Máster – Vehicle to grid (V2G) Services

11. ANEXOS

11.1 ANEXO I

Panasonic
Lithium Ion
NCR18650B

Features & Benefits	Specifications	Dimensions														
<ul style="list-style-type: none"> High energy density Long stable power and long run time Ideal for notebook PCs, boosters, portable devices, etc. 	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Rated capacity⁽¹⁾</td> <td>Min. 3200mAh</td> </tr> <tr> <td>Capacity⁽²⁾</td> <td>Min. 3250mAh Typ. 3350mAh</td> </tr> <tr> <td>Nominal voltage</td> <td>3.6V</td> </tr> <tr> <td>Charging</td> <td>CC-CV, Std. 1625mA, 4.20V, 4.0 hrs</td> </tr> <tr> <td>Weight (max.)</td> <td>48.5 g</td> </tr> <tr> <td>Temperature</td> <td>Charge*: 0 to +45°C Discharge: -20 to +60°C Storage: -20 to +50°C</td> </tr> <tr> <td>Energy density⁽³⁾</td> <td>Volumetric: 676 Wh/l Gravimetric: 243 Wh/kg</td> </tr> </table>	Rated capacity ⁽¹⁾	Min. 3200mAh	Capacity ⁽²⁾	Min. 3250mAh Typ. 3350mAh	Nominal voltage	3.6V	Charging	CC-CV, Std. 1625mA, 4.20V, 4.0 hrs	Weight (max.)	48.5 g	Temperature	Charge*: 0 to +45°C Discharge: -20 to +60°C Storage: -20 to +50°C	Energy density ⁽³⁾	Volumetric: 676 Wh/l Gravimetric: 243 Wh/kg	<p style="text-align: center; color: red; font-weight: bold;">For Reference Only</p>
Rated capacity ⁽¹⁾	Min. 3200mAh															
Capacity ⁽²⁾	Min. 3250mAh Typ. 3350mAh															
Nominal voltage	3.6V															
Charging	CC-CV, Std. 1625mA, 4.20V, 4.0 hrs															
Weight (max.)	48.5 g															
Temperature	Charge*: 0 to +45°C Discharge: -20 to +60°C Storage: -20 to +50°C															
Energy density ⁽³⁾	Volumetric: 676 Wh/l Gravimetric: 243 Wh/kg															

* At temperatures below 10°C, charge at a 0.25C rate. ⁽¹⁾ At 20°C ⁽²⁾ At 25°C ⁽³⁾ Energy density based on bare cell dimensions

Charge Characteristics

Cycle Life Characteristics

Discharge Characteristics (by temperature)

Discharge Characteristics (by rate of discharge)

The data in this document is for descriptive purposes only and is not intended to make or imply any guarantee or warranty.

Ilustración 9. Especificaciones batería Panasonic NCR18650B

Fuente: <https://www.batteryspace.com/prod-specs/NCR18650B.pdf>



11.2 ANEXO II

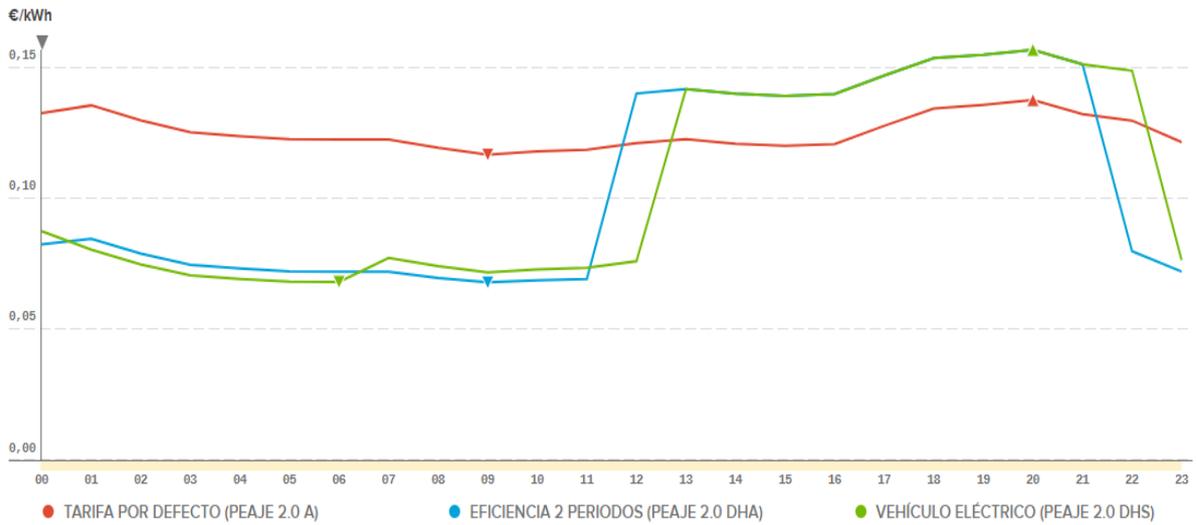


Ilustración 10. Término de facturación 01/01/2017

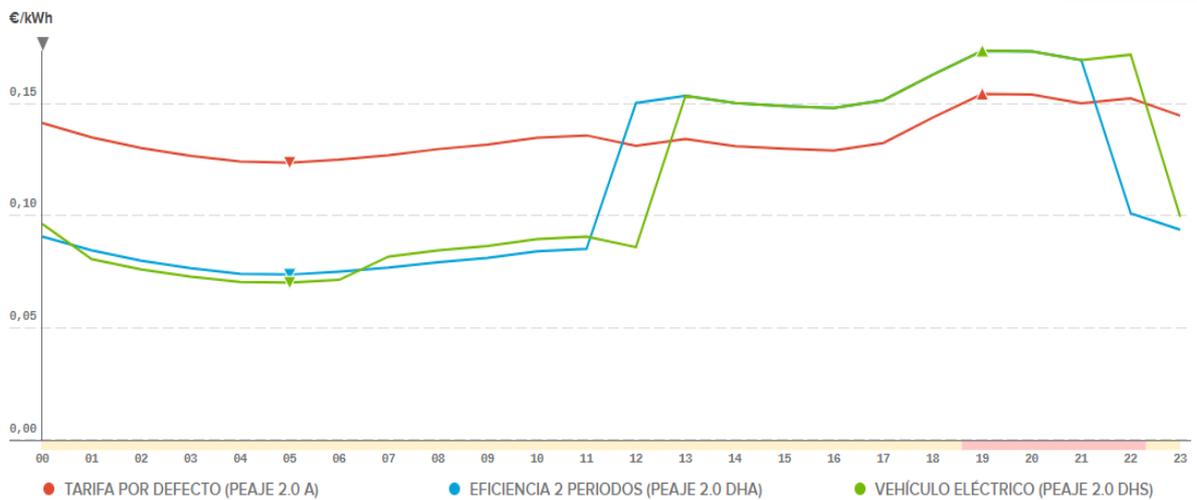


Ilustración 11. Término de facturación 15/01/2017

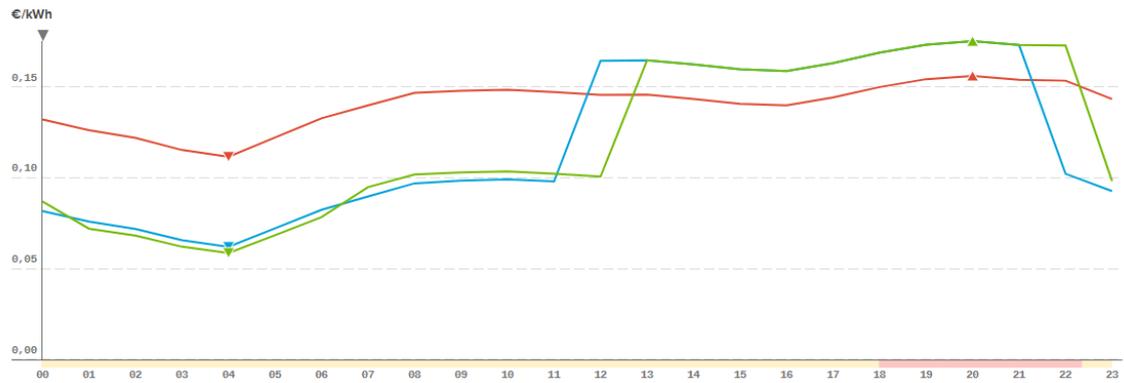


Ilustración 12. Término de facturación 16/01/2017

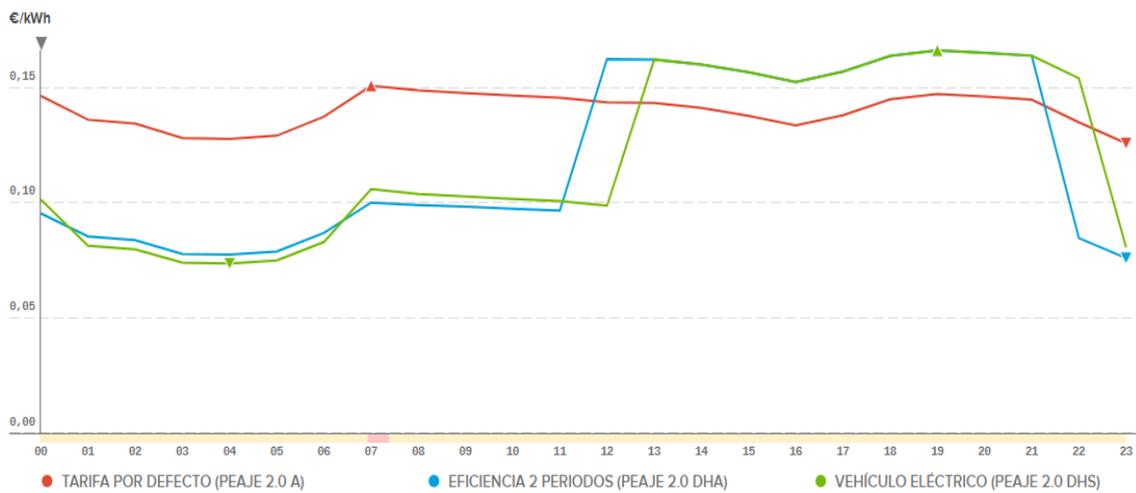


Ilustración 13. Término de facturación 01/02/2017

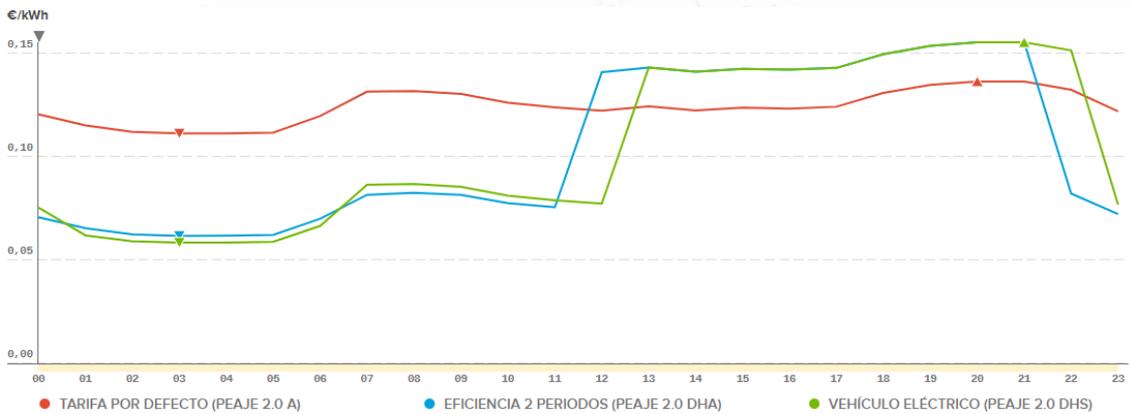


Ilustración 14. Término de facturación 15/02/2017

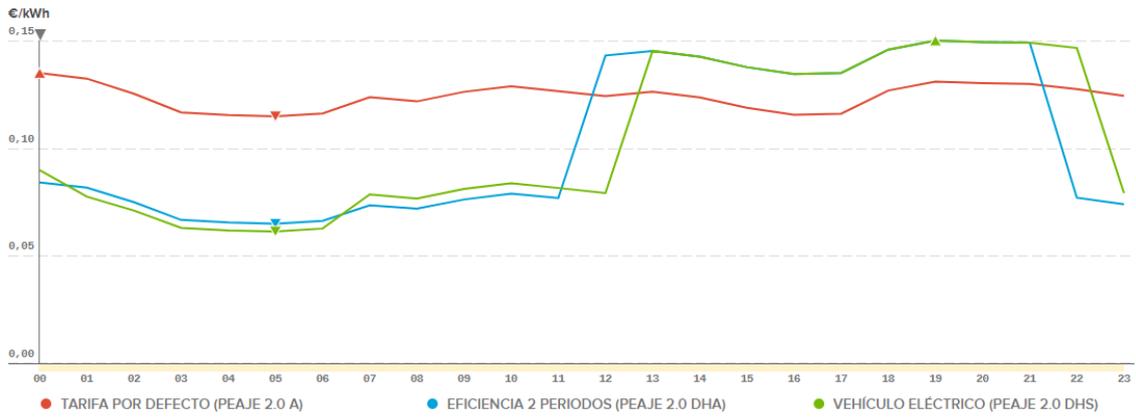


Ilustración 15. Término de facturación 18/02/2017

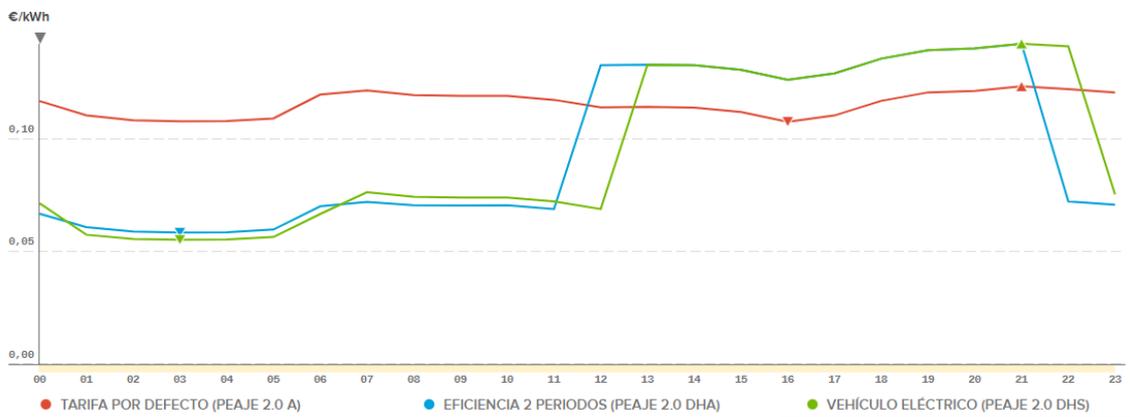


Ilustración 16. Término de facturación 01/03/2017

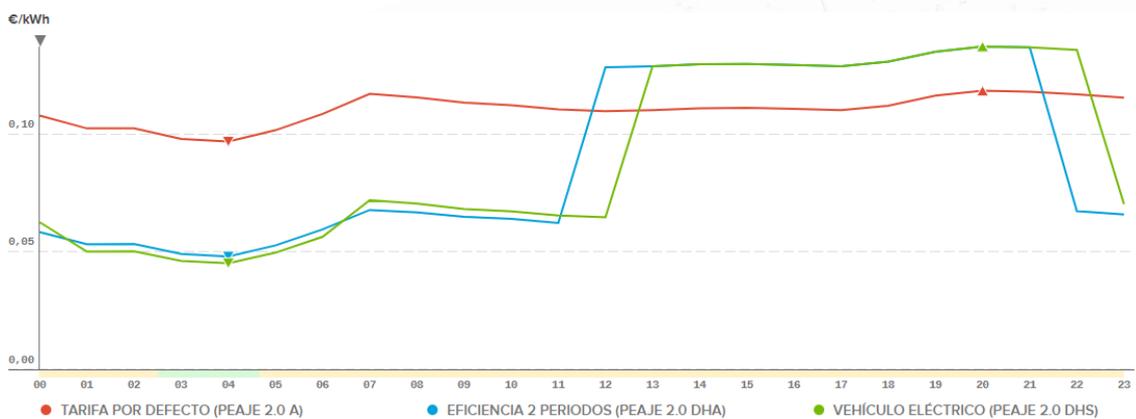


Ilustración 17. Término de facturación 15/03/2017

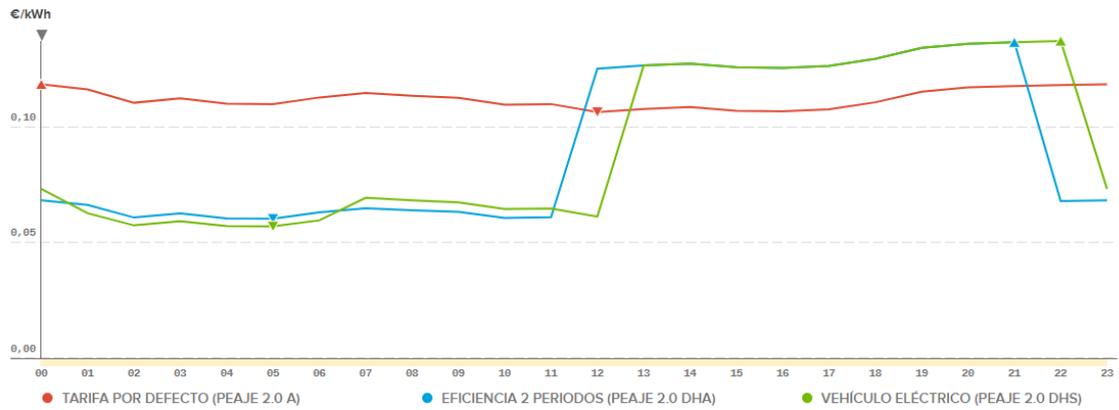


Ilustración 18. Término de facturación 18/03/2017

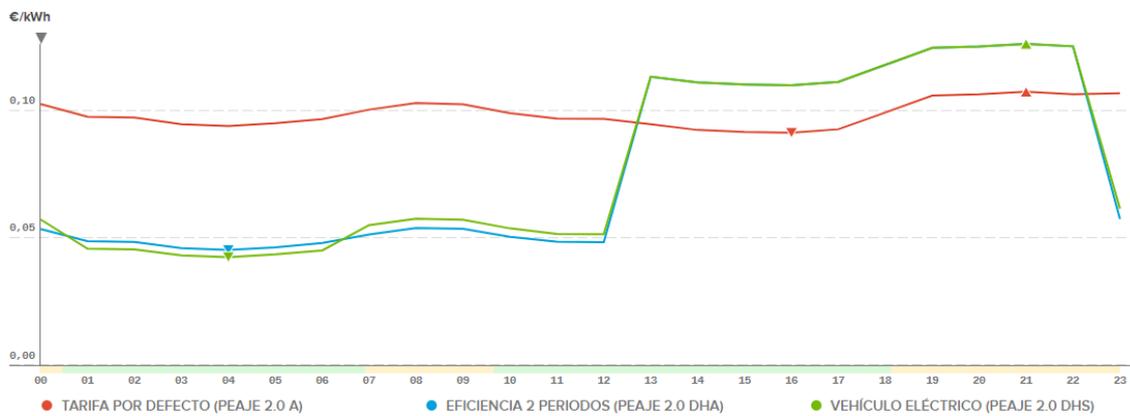


Ilustración 19. Término de facturación 01/04/2017

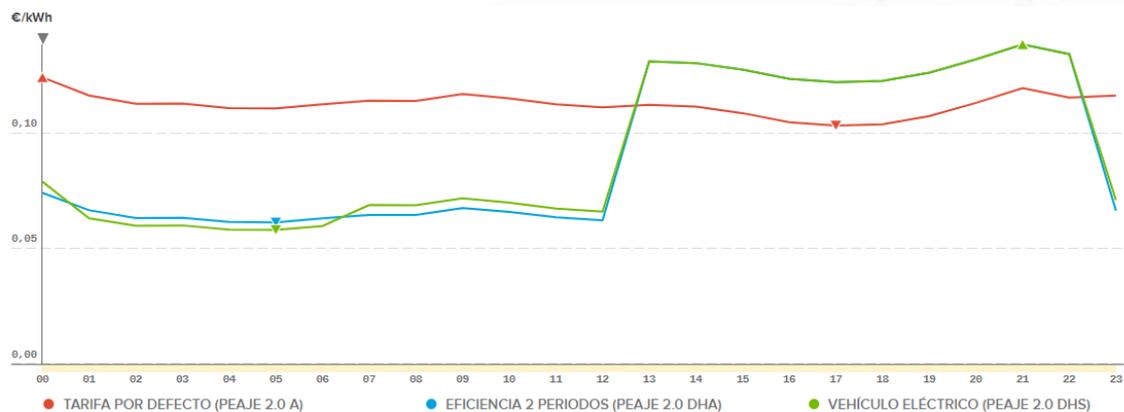


Ilustración 20. Término de facturación 15/04/2017

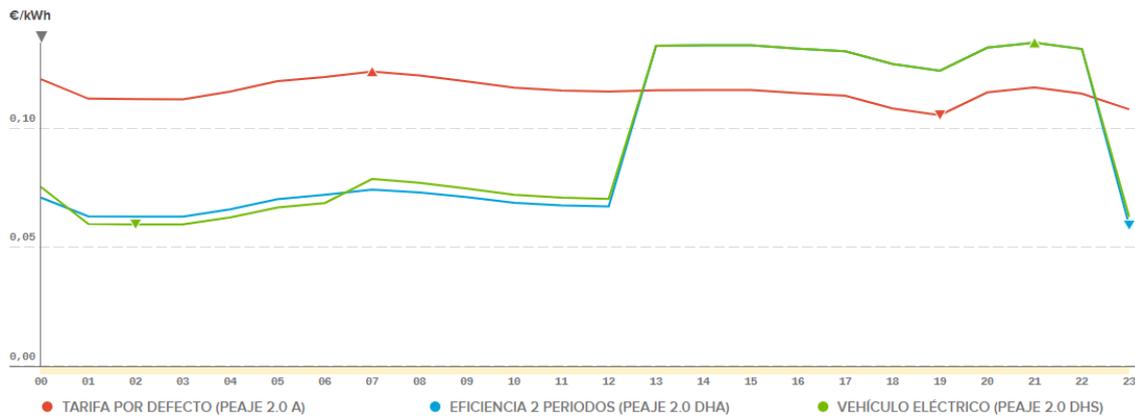


Ilustración 21. Término de facturación 17/04/2017

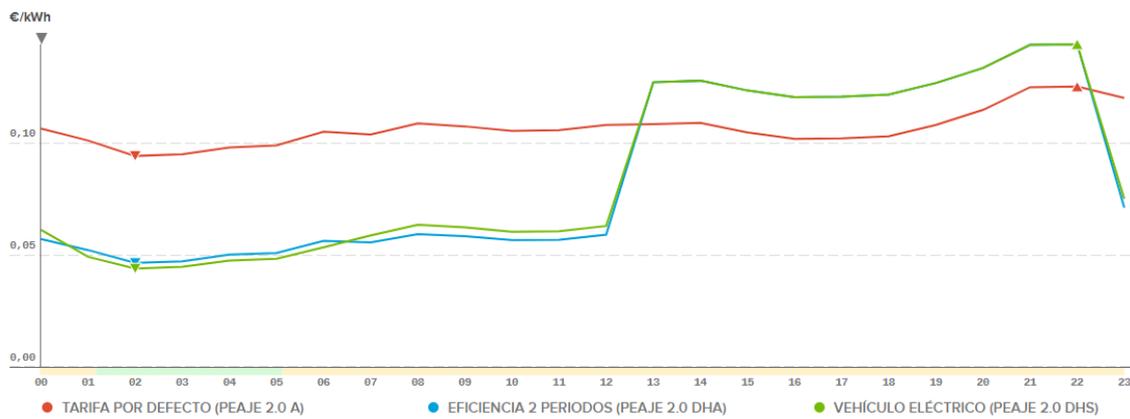


Ilustración 22. Término de facturación 01/05/2017

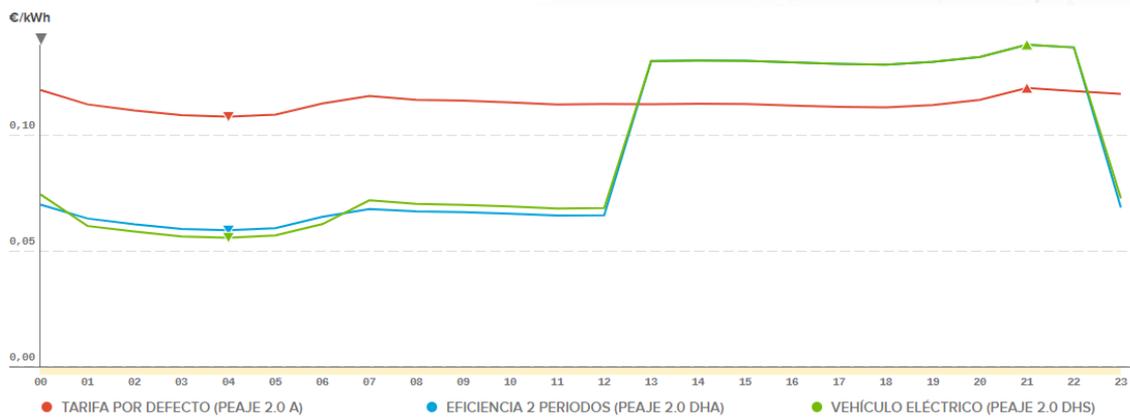


Ilustración 23. Término de facturación 15/05/2017

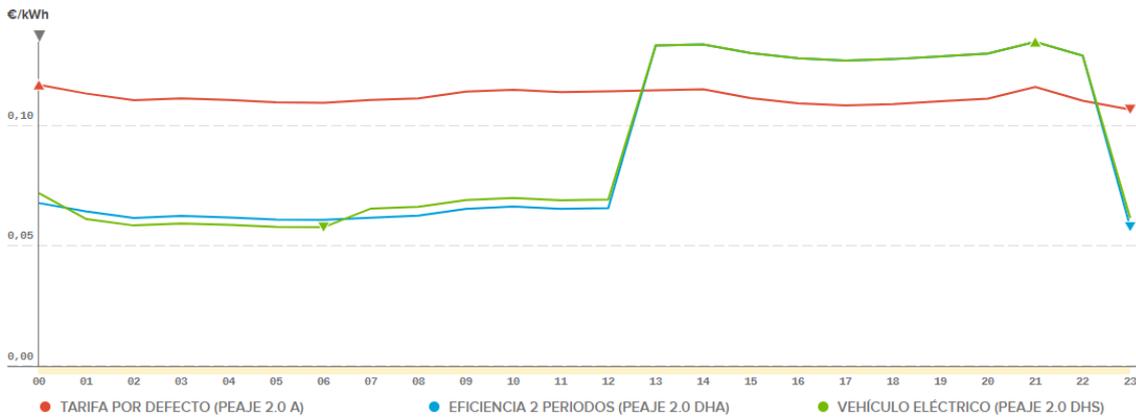


Ilustración 24. Término de facturación 20/05/2017

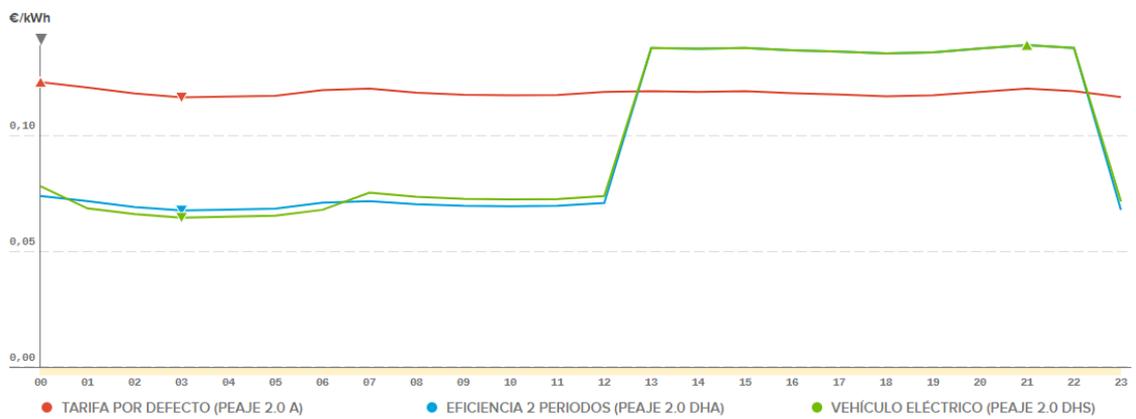


Ilustración 25. Término de facturación 01/06/2017

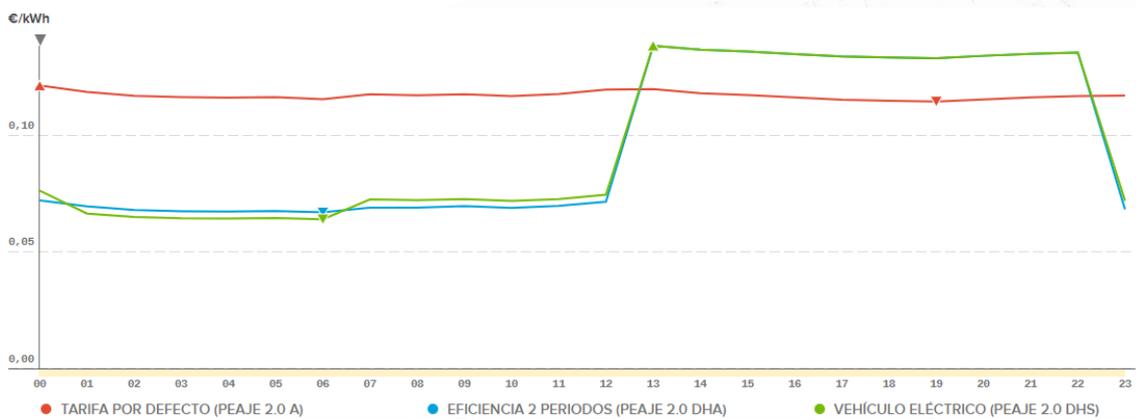


Ilustración 26. Término de facturación 15/06/2017

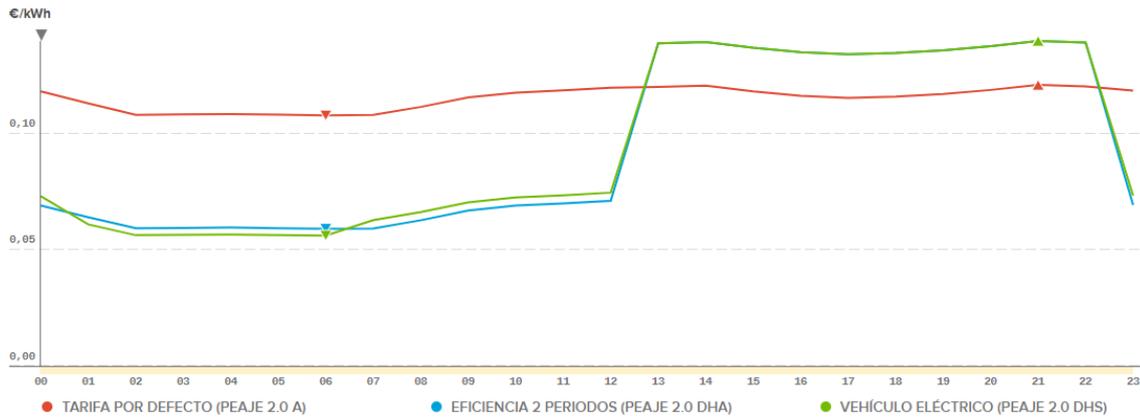


Ilustración 27. Término de facturación 17/06/2017

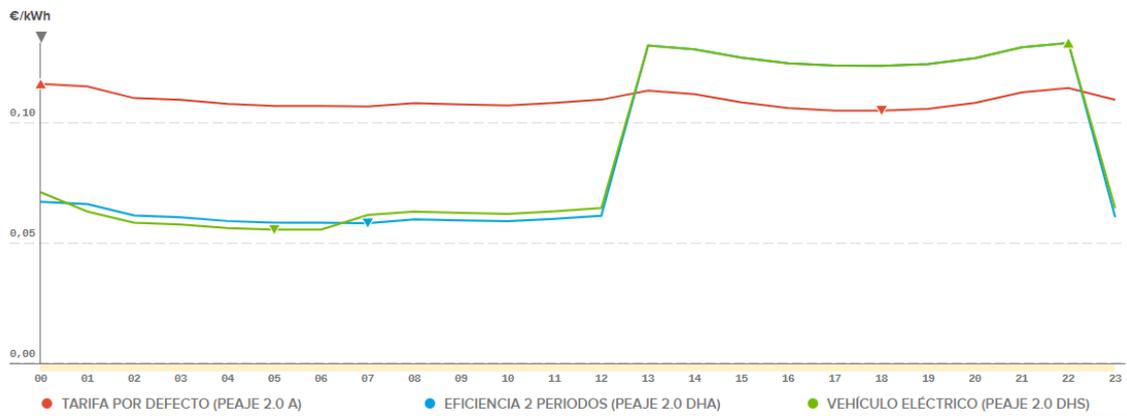


Ilustración 28. Término de facturación 01/07/2017

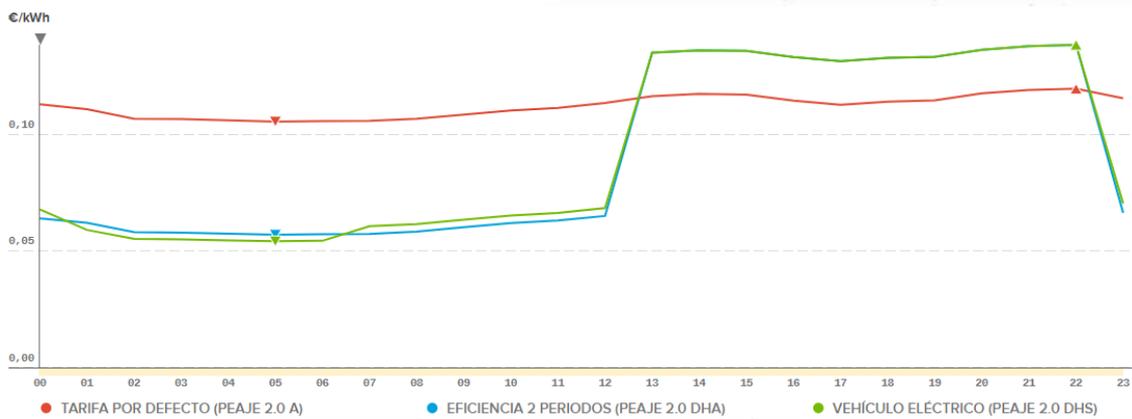


Ilustración 29. Término de facturación 15/07/2017

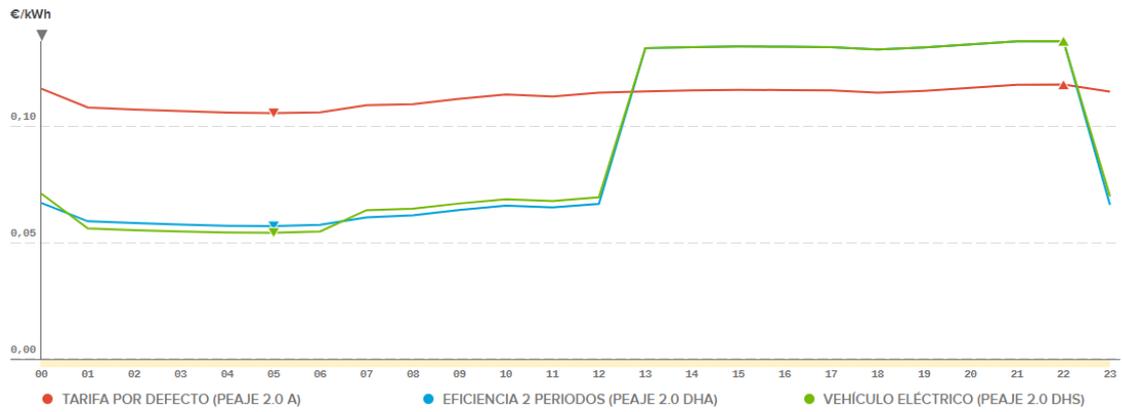


Ilustración 30. Término de facturación 17/07/2017

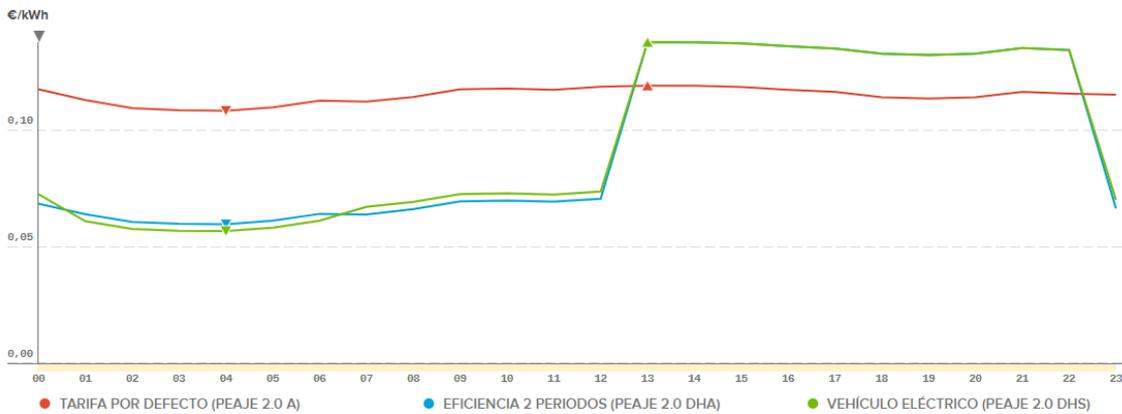


Ilustración 31. Término de facturación 01/08/2017

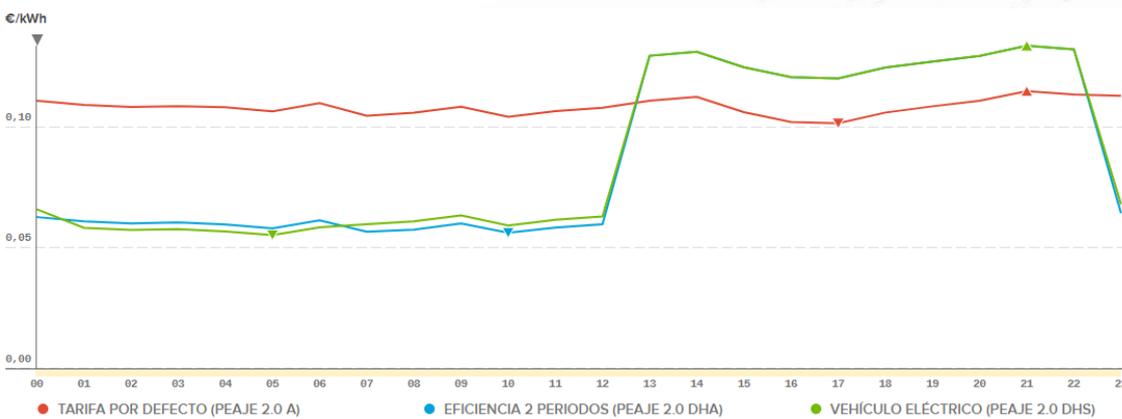


Ilustración 32. Término de facturación 15/08/2017

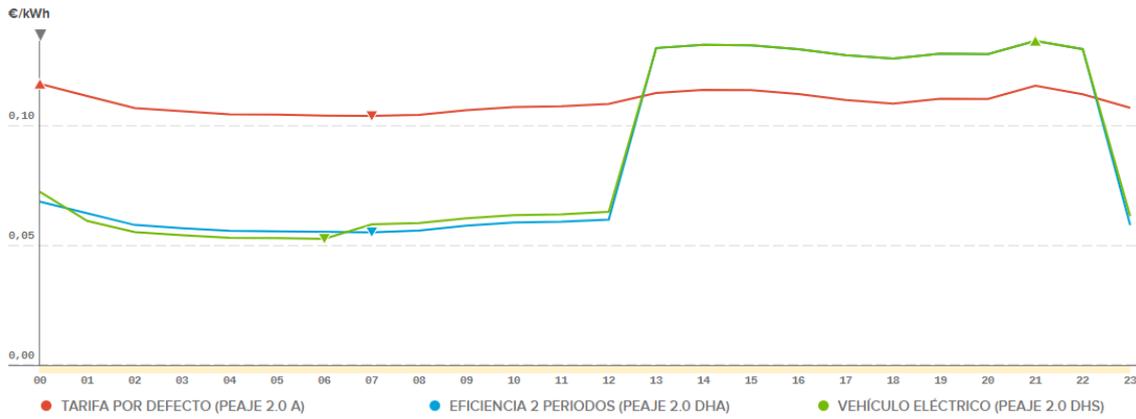


Ilustración 33. Término de facturación 19/08/2017

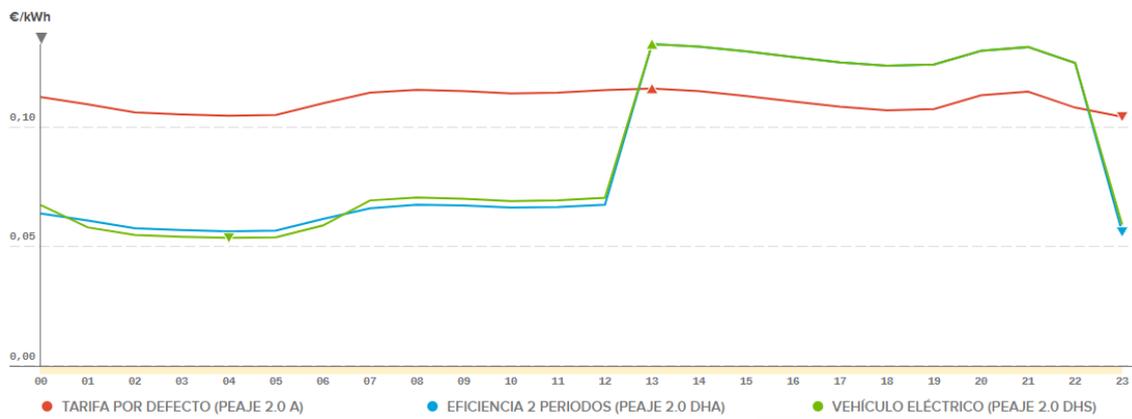


Ilustración 34. Término de facturación 01/09/2017

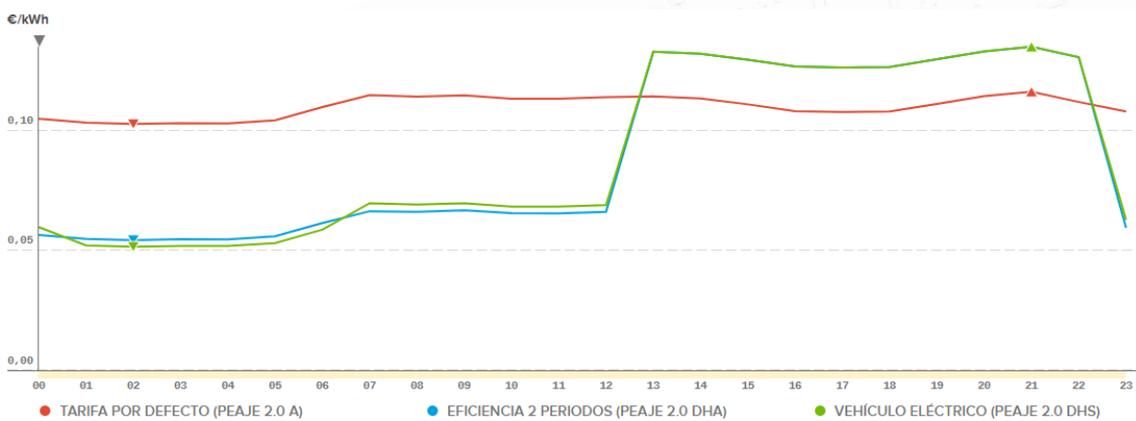


Ilustración 35. Término de facturación 15/09/2017

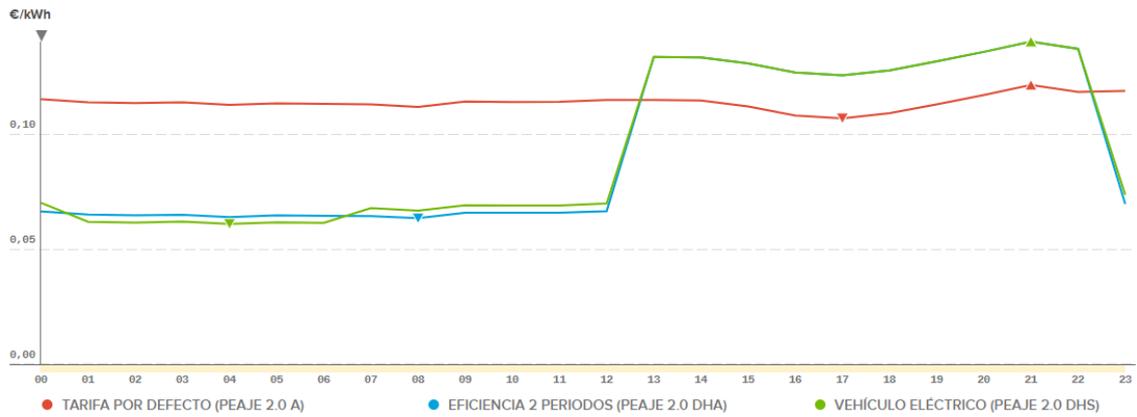


Ilustración 36. Término de facturación 16/09/2017

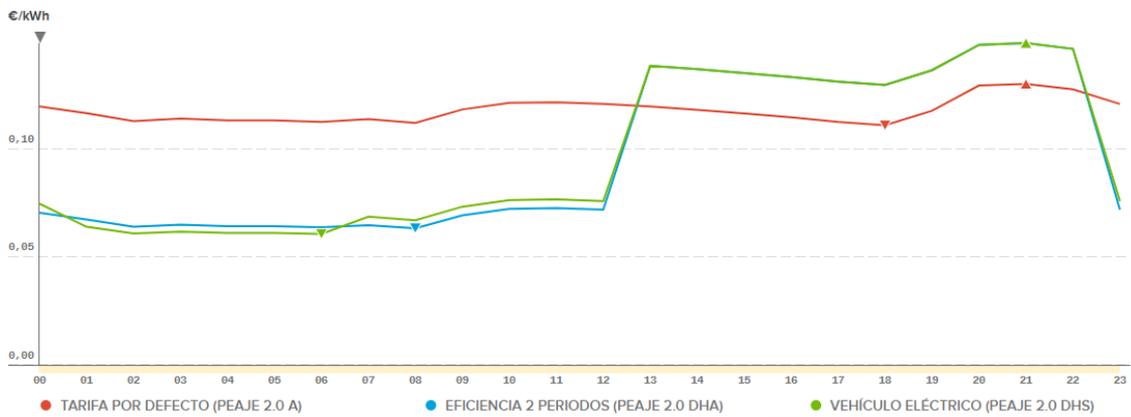


Ilustración 37. Término de facturación 01/10/2017

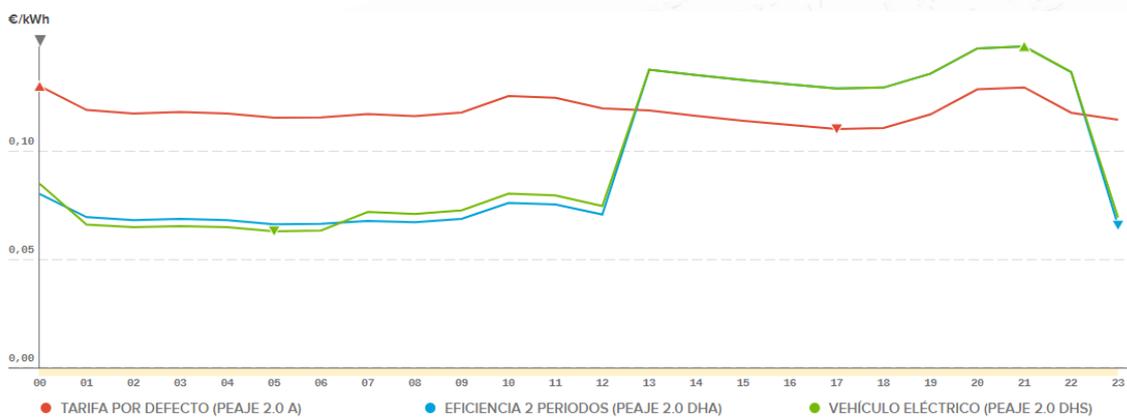


Ilustración 38. Término de facturación 15/10/2017



Ilustración 39. Término de facturación 17/10/2017

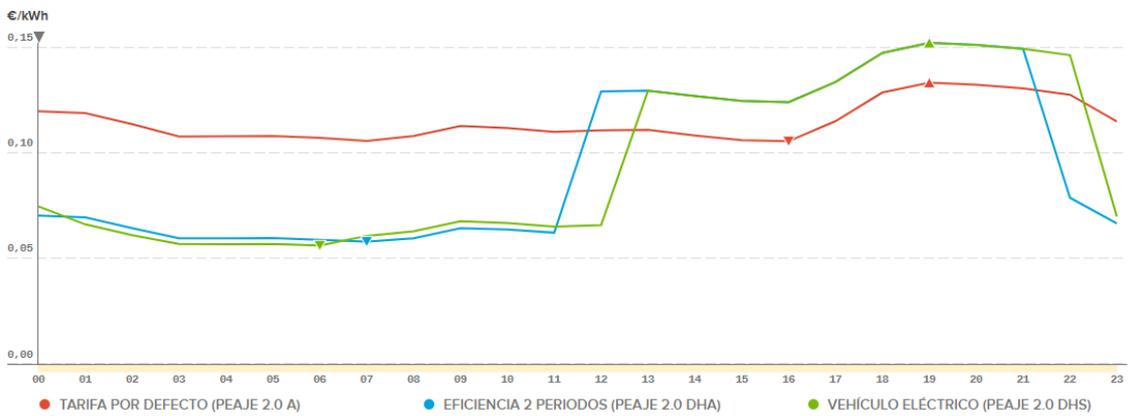


Ilustración 40. Término de facturación 01/11/2017

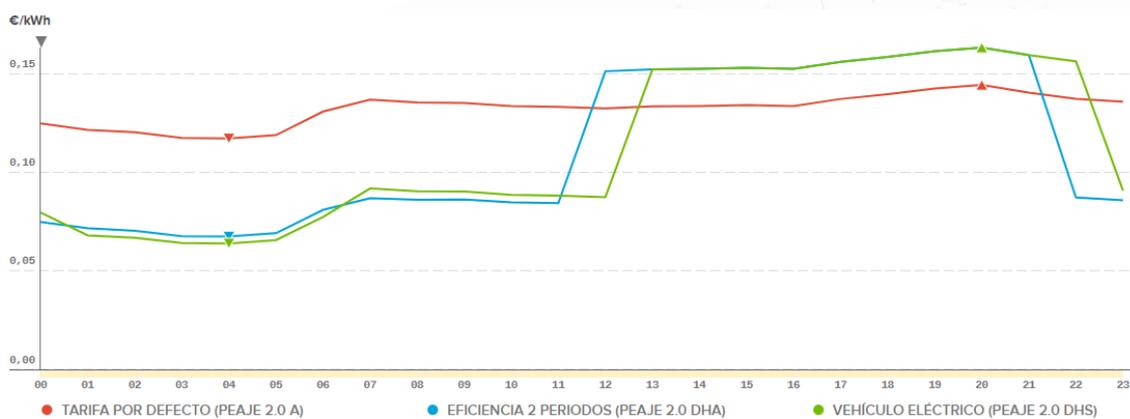


Ilustración 41. Término de facturación 15/11/2017

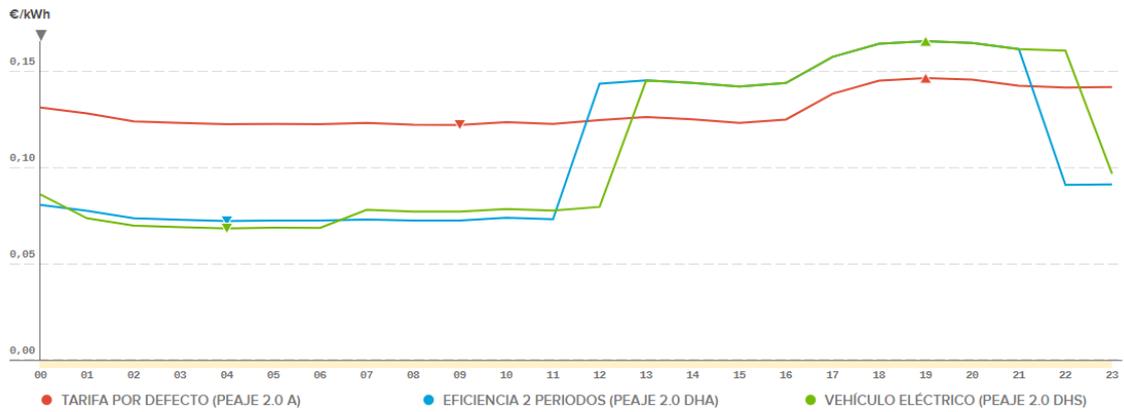


Ilustración 42. Término de facturación 19/11/2017

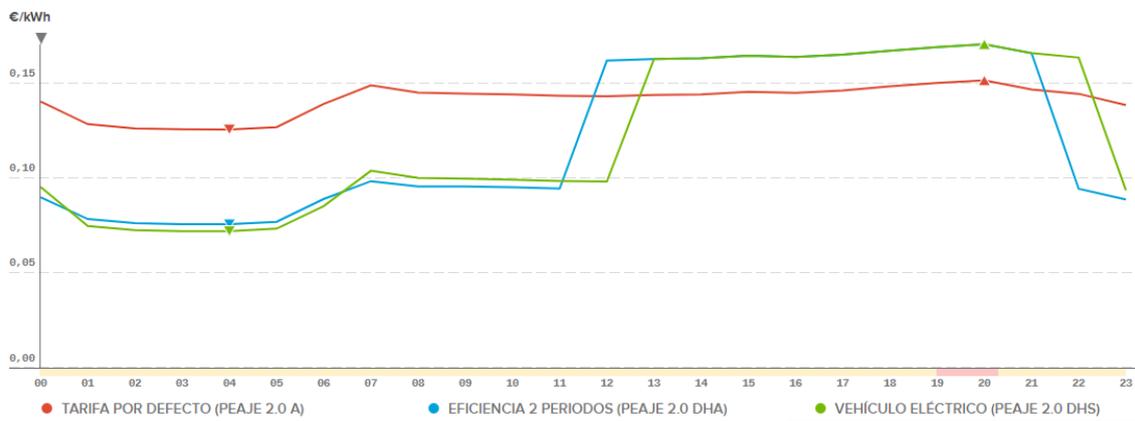


Ilustración 43. Término de facturación 04/12/2017

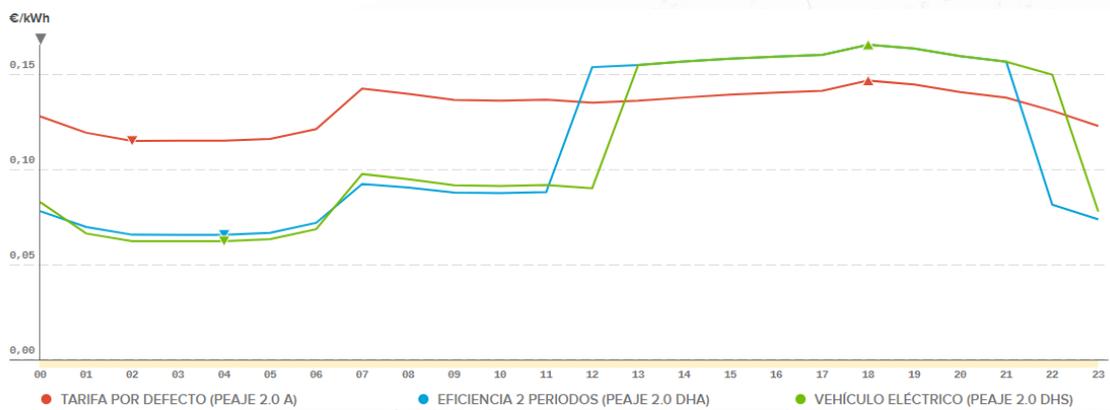


Ilustración 44. Término de facturación 18/12/2017

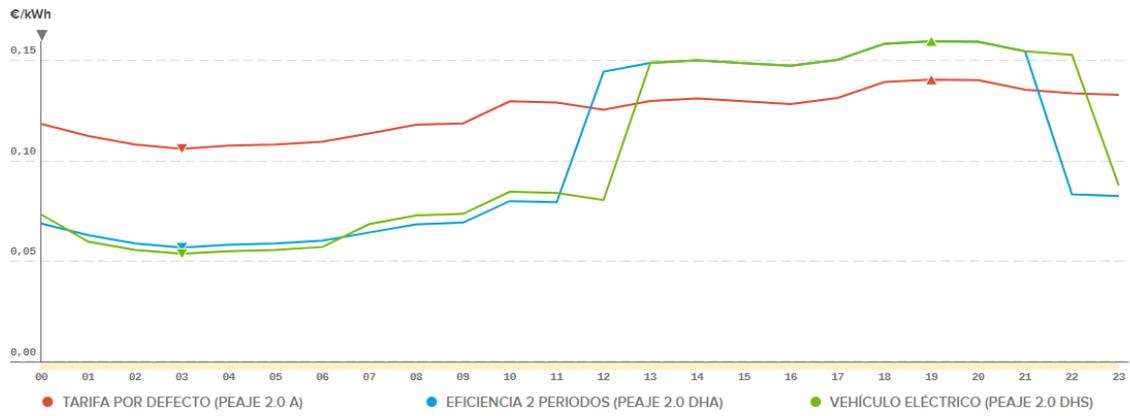


Ilustración 45. Término de facturación 23/12/2017



11.3 ANEXO III

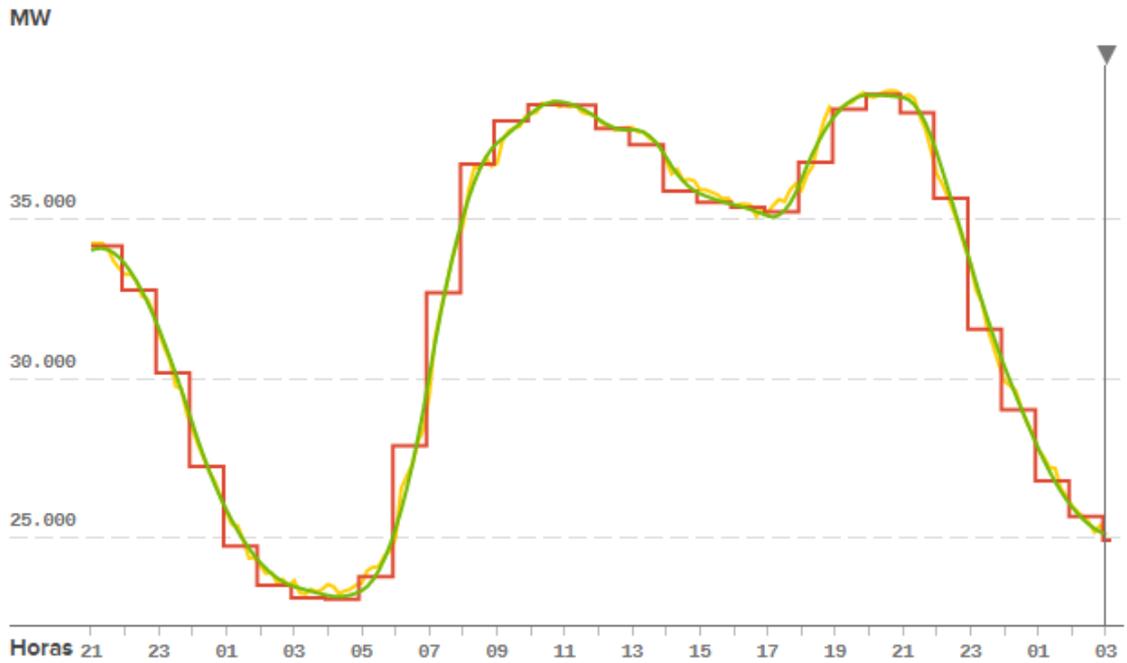


Ilustración 46. Consumo del día 15/01/2018

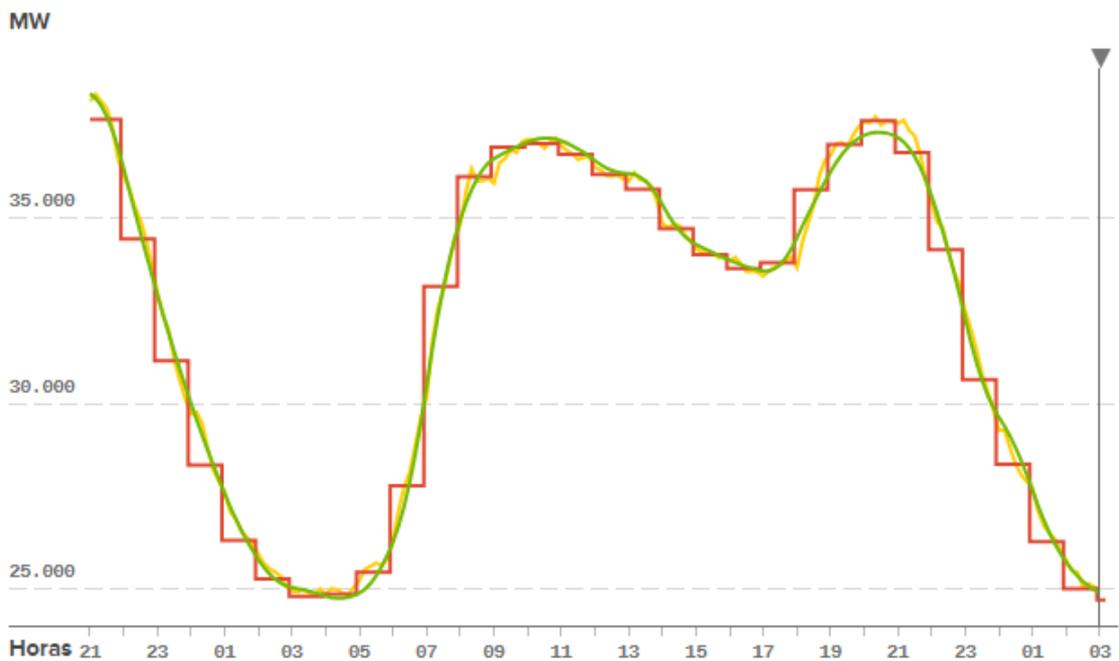


Ilustración 47. Consumo del día 17/01/2018



Ilustración 48. Consumo del día 22/01/2018



Ilustración 49. Consumo del día 19/06/2018



Ilustración 50. Consumo del día 23/06/2018

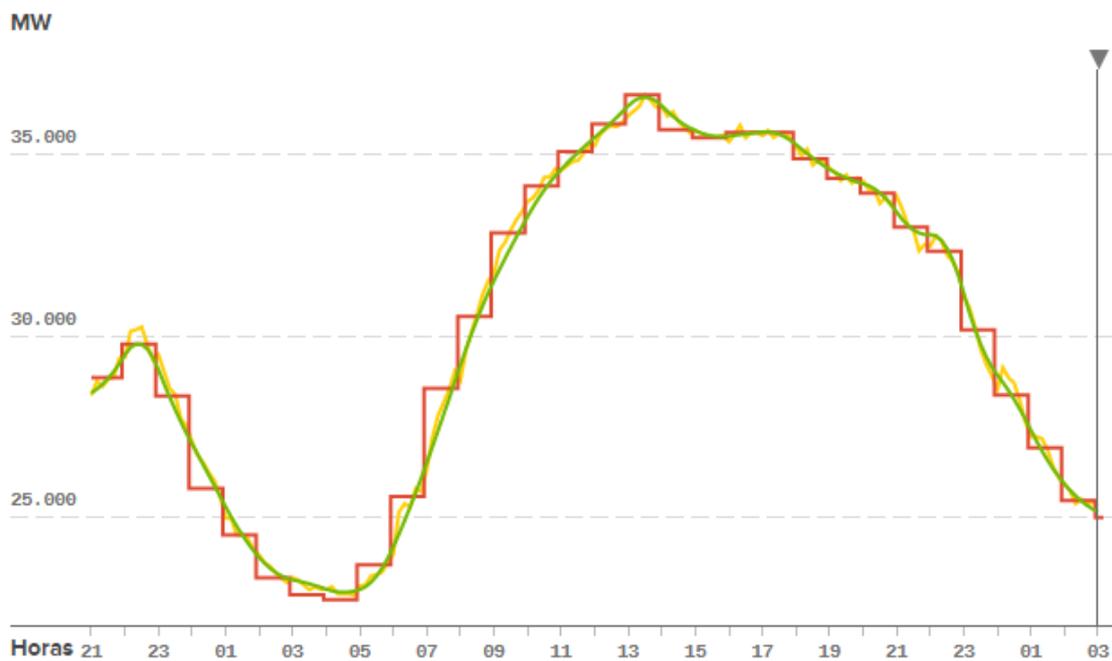


Ilustración 51. Consumo del día 25/06/2018



11.4 ANEXO IV

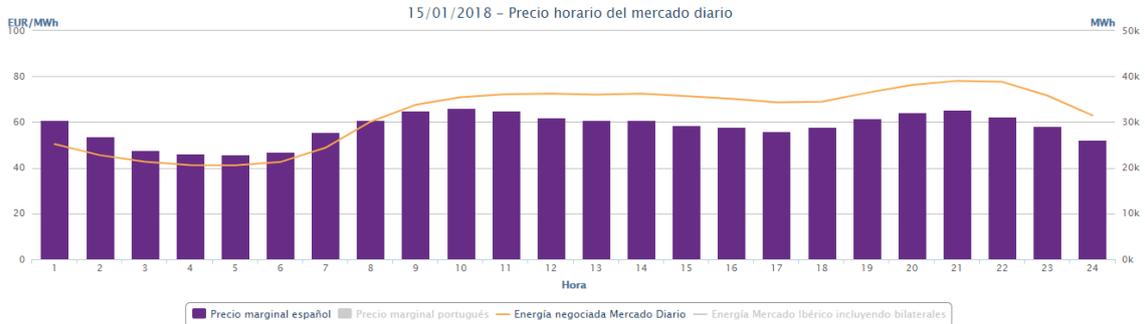


Ilustración 52. Precio horario del mercado diario 15/01/2018

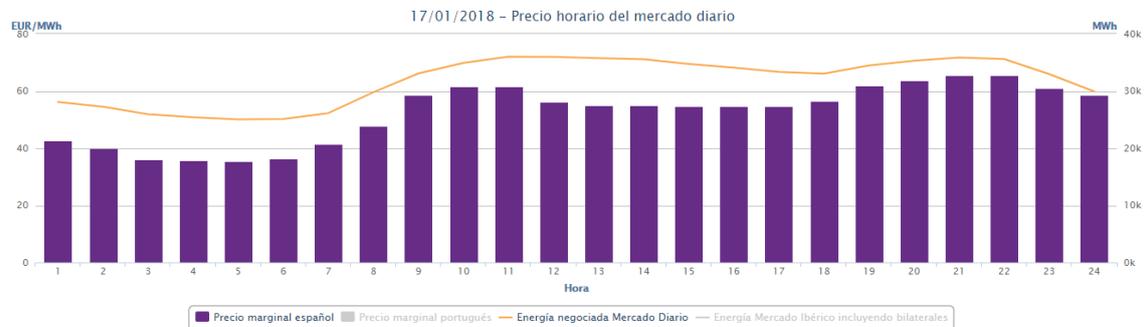


Ilustración 53. Precio horario del mercado diario 17/01/2018

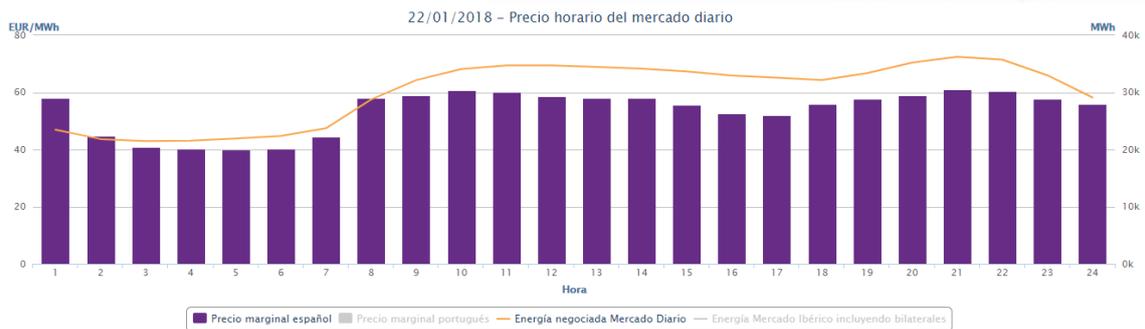


Ilustración 54. Precio horario del mercado diario 22/01/2018

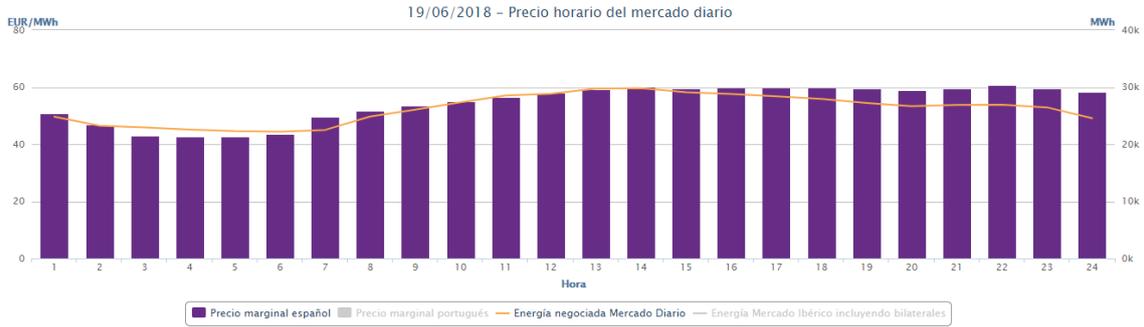


Ilustración 55. Precio horario del mercado diario 19/06/2018

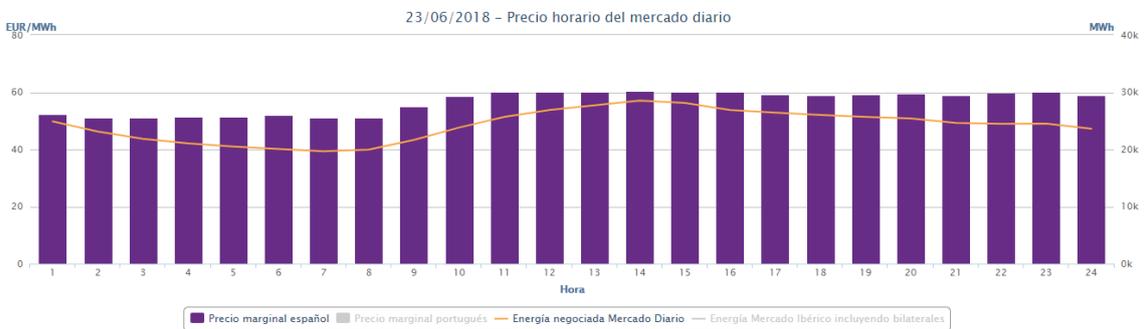


Ilustración 56. Precio horario del mercado diario 23/06/2018

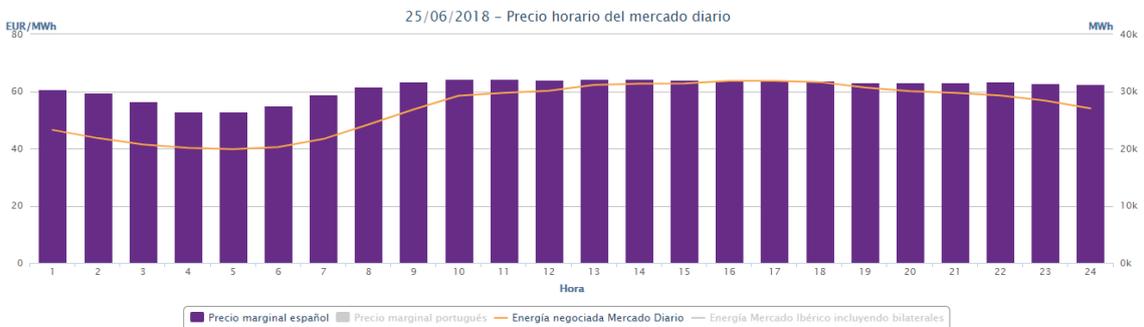


Ilustración 57. Precio horario del mercado diario 25/06/2018



11.5 ANEXO V

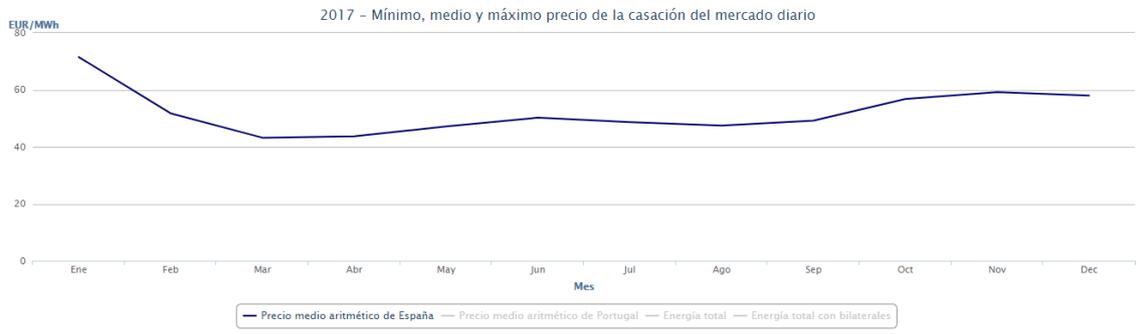


Ilustración 58. Precio medio mensual del mercado eléctrico en el año 2017

