



Universidad
Zaragoza

ACTAS DE LAS JORNADAS SARTECO

12-14 SEPT

**AVANCES EN ARQUITECTURA Y
TECNOLOGÍA DE COMPUTADORES**



Editado por:

Francisco J. Martínez

Julio A. Sangüesa

Piedad Garrido

Arturo González-Escribano

Diego R. Llanos

Sergio Cuenca Asensi

Jesús González Peñalver

 **sarteco**

 **INIT**

Avances en arquitectura y tecnología de computadores
Actas de las Jornadas SARTECO 2018

Editores: Francisco J. Martínez, Julio A. Sangüesa, Piedad Garrido, Arturo Gonzalez-Escribano,
Diego R. Llanos, Sergio Cuenca Asensi, Jesús González Peñalver

(c) 2018, Jornadas SARTECO

ISBN-13: 978-84-09-04334-7

Teruel, 2018

ISBN 978-84-09-04334-7



9 788409 043347

Mejora de la recarga de los vehículos eléctricos

Vicente Torres-Sanz¹, Julio A. Sangüesa², Francisco J. Martínez¹,
Piedad Garrido¹, Johann M. Marquez-Barja³

Resumen— Es esencial establecer estrategias de carga inteligentes y eficientes para los vehículos eléctricos, debido al aumento de sus ventas, y especialmente teniendo en cuenta que muchos de estos vehículos se recargarán en estacionamientos privados, donde las características de los puntos de recarga son limitadas. En este artículo, como una alternativa al método tradicional Plug and Charge (P&C), proponemos cuatro métodos de carga: Centrado más Barato (C+B), Inicio más Barato (I+B), Periodo más Barato (P+B), y Último Tramo (UT). Nuestro objetivo es encontrar mejores estrategias para un proceso automático, eficiente y programado de carga de vehículos eléctricos, evitando las demandas de energía pico y promoviendo recargas en horas de menor actividad, donde los precios de la electricidad son más bajos. Se han simulado dos escenarios, en los que los vehículos llegan con diferentes niveles de batería: (i) un escenario de demanda habitual y (ii) un escenario de demanda extra. Los resultados de la simulación confirman que nuestros métodos de carga, permiten ahorrar entre un 46,9% y un 75,2% en el coste de la electricidad.

Palabras clave— Vehículo eléctrico, recarga de baterías, Smart Cities.

I. INTRODUCCIÓN

LOS niveles de contaminación están aumentando hasta alcanzar niveles preocupantes. La mayoría de estos casos se concentran en las grandes ciudades, provocados principalmente por las emisiones de los motores de combustión de los vehículos. De hecho, la contaminación ambiental afecta a la salud de forma muy negativa, causando enfermedades, como asma, enfermedades cardiorrespiratorias o cáncer de pulmón [1, 2], y es una causa común de acortamiento de la vida [3].

Por esta razón, los gobiernos y las organizaciones públicas están haciendo esfuerzos para mejorar la calidad del aire y la calidad de vida de los ciudadanos, proponiendo políticas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (es decir, CO₂, CH₄, así como contaminantes como óxidos de nitrógeno, polvo, y humo). Estas políticas también incluyen: (i) la producción de electricidad mediante el uso de fuentes de energía renovables (energía solar, eólica e hidroeléctrica) [4], y (ii) el fomento del uso de vehículos eléctricos (EVs) [5–7].

En la actualidad, cada fabricante de automóviles está trabajando en motores eléctricos o incluso ya tiene algún modelo en el mercado. De hecho, podemos encontrar compañías que solo fabrican vehículos propulsados por motores eléctricos, como Eve, Zytel,

Little Electric Cars o Tesla Motors. Esto sugiere que el EV va a ser un actor importante en este nuevo escenario, ya que las ventas están aumentando progresivamente, y se espera que aumenten ampliamente durante los próximos años. La Figura 1 muestra la estimación de las ventas de EVs proporcionada por diferentes agencias y consorcios, como la Agencia Internacional de Energía (IEA) [8, 9], la Declaración de París [10] (que trata de limitar el aumento promedio de la temperatura global en 2°C), o la campaña 'EV30@30' respaldada por la Clean Energy Ministerial (CEM) [11] (que considera que al menos el 30% de los vehículos vendidos en 2030 incluirán motores eléctricos).

Además será esencial equipar los vehículos eléctricos con sistemas de carga inteligentes y eficientes, especialmente teniendo en cuenta que la mayoría de los vehículos se cargarán en los propios domicilios, donde las instalaciones eléctricas son bastante limitadas. Teniendo en cuenta lo anterior, y que el método de recarga utilizado actualmente es el denominado Plug&Charge (P&C), es decir, las baterías comienzan el proceso de carga justo cuando el vehículo se enchufa a la red.

Uno de los principales problemas que puede presentar el método de recarga P&C es que, en muchos países, los precios de la electricidad varían durante el día, especialmente según la demanda. Sin embargo, el P&C no impide que los usuarios carguen sus vehículos cuando la electricidad es más cara, lo que hace que los vehículos eléctricos sean menos atractivos para los potenciales compradores. Además, muchas personas suelen seguir el mismo patrón de movilidad, por ejemplo, vuelven a casa después de su día de trabajo prácticamente al mismo tiempo, y por lo tanto, el proceso de carga puede colapsar la red eléctrica debido a los picos de demanda. En esencia, el método tradicional de carga de Plug&Charge presenta los siguientes problemas:

- El alto precio de la electricidad. En la mayoría de los países, el precio de la electricidad varía a lo largo del día, y este coste puede ser alto, especialmente en períodos de alta demanda de energía, cuando la mayoría de los usuarios intenta cargar sus vehículos eléctricos.
- Posible colapso de la red en el ya que la cantidad esperada de vehículos eléctricos en los próximos años y el aumento de la capacidad de la batería pueden afectar en gran medida a la red eléctrica si todos estos vehículos requieren recargar al mismo tiempo.
- Ineficiencia. Al utilizar Plug&Charge, no se tienen en cuenta los parámetros de eficiencia, como

¹Dpto. de Informática e Ingeniería de Computadores, Universidad de Zaragoza, e-mail: vtorres, f.martinez, piedad@unizar.es

²Centro Universitario de la Defensa, Zaragoza, e-mail: jsanguesa@unizar.es

³IDLab—Faculty of Applied Engineering, University of Antwerp—imec, Belgium, email: Johann.Marquez-Barja@uantwerpen.be

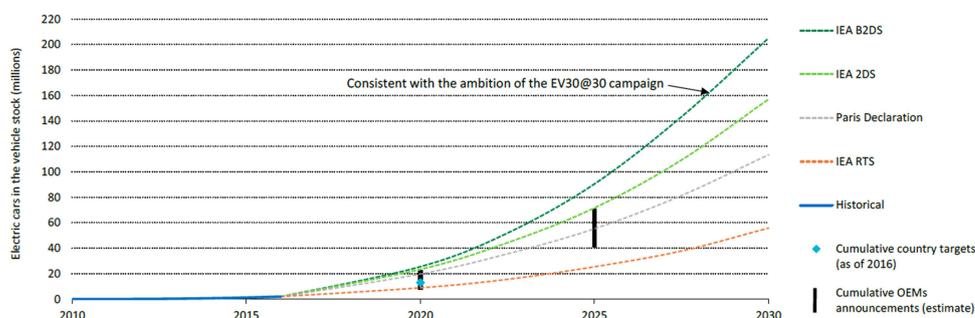


Fig. 1. Escenario de despliegue de EVs en el futuro [8].

el precio de la electricidad en ese instante o la cantidad de energía requerida para cargar completamente la batería.

- Mayores inversiones en infraestructura y gastos de operación para satisfacer los picos de alta demanda de energía, especialmente en el futuro, cuando la penetración de EVs en el mercado sea mayor.

Para resolver adecuadamente los problemas derivados de la utilización del método de carga Plug&Charge, en este trabajo, proponemos un conjunto de estrategias de carga de baterías especialmente diseñadas para EVs, y cuantificamos la mejora de estas estrategias en comparación con el método Plug&Charge. De acuerdo con esto, presentamos un análisis de los resultados obtenidos para cada uno de los métodos de carga propuestos, y así poder determinar las fortalezas y debilidades de cada uno.

El artículo está organizado de la siguiente manera: En la sección II, detallamos los cuatro métodos propuestos. La sección III muestra las características de las simulaciones realizadas, y la sección IV incluye el análisis de los resultados obtenidos, considerando que buscamos reducir el coste de la electricidad requerida, manteniendo el nivel de carga de las baterías. Finalmente, en la sección V, se presentan las conclusiones de nuestro trabajo.

II. MEJORANDO LA RECARGA DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

La estrategia de recarga más comúnmente utilizada para los vehículos eléctricos es el Plug&Charge, es decir, el proceso de recarga de la batería se inicia justo cuando el usuario llega al punto de recarga y conecta al vehículo al enchufe. Sin embargo, este método no es eficiente, ya que no tiene en cuenta ningún parámetro de eficiencia energética o de reducción de coste (por ejemplo, el precio de la electricidad, el estado actual de la red eléctrica, el nivel actual de la batería, o si la energía requerida se ha generado de manera respetuosa con el medio ambiente). Consideramos este método como una línea de base para nuestro estudio comparativo, ya que es la estrategia más aceptada y utilizada entre los usuarios de EVs.

En este trabajo proponemos cuatro métodos de carga diferentes que mejorarán los cargadores inteligentes al permitir recargas más baratas y eficientes.

Suponemos que los puntos de carga tienen capacidades de comunicación con el vehículo y acceso a Internet, además, de que el usuario puede informar sobre la hora de salida programada.

Los métodos de carga propuestos son los siguientes:

- **Centrado más Barato (C+B)**. Se calcula el tiempo t , necesario para recargar las baterías, por otro lado se busca el momento p en que la tarifa eléctrica es más barata, y se planifica la recarga centrando t en el punto p , tal y como se muestra en la Ecuación 1.

$$\left[\left(p - \frac{t}{2} \right) .. \left(p + \frac{t}{2} \right) \right] \quad (1)$$

- **Inicio más Barato (I+B)**. El método I+B planificará el inicio de la recarga justo en el momento en que la electricidad es la más barata. Este método es más restrictivo que el anterior, ya que puede haber vehículos que podrían no cargarse al completo.
- **Periodo más Barato (P+B)**. El método P+B determina que los vehículos eléctricos comiencen su recarga cuando comienza el período valle. Esta estrategia de recarga está pensada principalmente para cargas nocturnas.
- **Último Tramo (UT)**. El método UT determina que los vehículos comenzarán su proceso de recarga durante la última parte del tiempo que va a estar estacionado, es decir, asegura que el proceso de carga terminará justo antes de salir del estacionamiento. Este método siempre asigna el proceso de carga justo antes de que los vehículos tengan que abandonar sus estacionamientos, independientemente de la tarifa de electricidad. Por lo tanto, se requiere conocer esta información (es decir, cuando va a partir) para que funcione correctamente. Por lo tanto, en caso de requerir más tiempo del que un vehículo va a estar estacionado, este método se comportará exactamente igual que P&C.

Para la simulación se ha utilizado un punto de recarga del tipo Modo 1, que según el IEC 62196, proporciona 230 V con una intensidad máxima de 16 A, lo que supone una potencia de carga de 3.680 W.

En aras de la claridad y para comprender mejor el

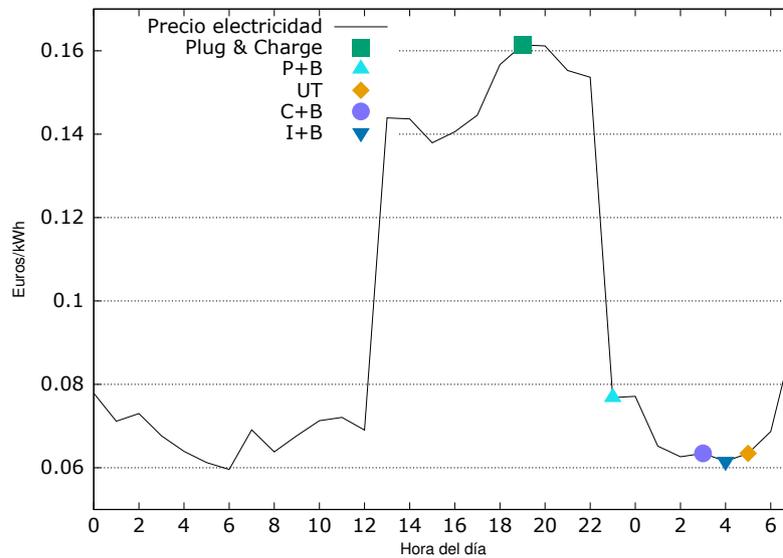


Fig. 2. Ejemplo que incluye el precio de la electricidad y el punto de partida de carga de los diferentes métodos.

funcionamiento de los métodos propuestos, presentamos el siguiente ejemplo: supongamos que tenemos un vehículo eléctrico con una capacidad de batería de 24 kWh, el vehículo llega a un punto de recarga Modo 1 a las 7:00 p.m., que en función de su nivel de batería requiere 2 horas para recargarla completamente y se prevé saldrá a las 7 a.m. La Figura 2 muestra la evolución de la tarifa de electricidad (eje y) a lo largo del día (eje x), y los diferentes puntos de inicio determinados por el método P&C, así como por los métodos de carga propuestos. Por ejemplo, utilizando el método tradicional Plug&Charge, el vehículo comenzaría a recargarse inmediatamente (7 p.m.). En el caso de que se usara el método Centrado más Barato, se comprobaría la hora en que la electricidad es más barata (4 a.m.) y se centre la recarga en ese punto, por lo que comenzaría a las 3 a.m. para acabar a las 5 a.m. Utilizando el método Inicio más Barato, la recarga comenzaría a las 4 a.m. ya que este es el momento en que la electricidad es más barata, y sería terminar a las 6 am. Si usáramos el método de Periodo más Barato, el vehículo comenzaría el proceso de carga a las 23 p.m. ya que los precios de la electricidad caen bruscamente en ese momento, (comienza el período valle). Por último, si se utiliza el método de recarga Último Tramo, puesto que el vehículo va a salir a las 7 de la mañana, el proceso de carga comenzará a las 5 a.m. para terminar la carga completa justo antes de salir del aparcamiento.

III. ENTORNO DE SIMULACIÓN

Para evaluar las prestaciones de los cuatro métodos de carga propuestos y compararlos con el tradicional Plug&Charge, haremos uso de la simulación. Más específicamente, simularemos dos escenarios diferentes de acuerdo con el nivel de batería medio de los vehículos justo antes de comenzar a recargar. El objetivo es analizar el rendimiento de nuestros métodos propuestos bajo diferentes requisitos de energía. A continuación, detallamos los dos escenarios:

TABLA I
VENTAS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS DURANTE 2016 EN ESPAÑA [12]

Modelo	Batería (kWh)	Cuota de mercado
Nissan Leaf	24	16,2 %
Citroen C-Zero	15	15,5 %
Renault Zoe	22	12,6 %
BMW i3	22	10,6 %
Renault Kangoo	33	10,3 %
Nissan NV 200	24	9,6 %
Smart fortwo	17,6	4,8 %
Volkswagen Golf	24,2	4,3 %
Volvo XC90	65	4,0 %
BMW X5	9	3,8 %
Renault Twizy 80	6,1	2,9 %
KIA Soul	27	2,8 %
BMW 225	7,7	2,6 %

- **Escenario de demanda habitual**, en el que los niveles de batería de los vehículos antes de cargar siguen una distribución gaussiana con una media (μ) del 72% y una desviación estándar (σ) del 10%. Estos datos corresponden al nivel de batería medio de un EV después de un día de uso, de acuerdo con Qian et al. [13].
- **Escenario de demanda extra**. Consideramos este escenario como muy adverso, ya que los vehículos presentarán un nivel de batería μ igual al 25% y σ igual al 10%.

Con el objetivo de simular las características de los EVs de manera realista, y de estimar con precisión el coste de recargarlos al usar los diferentes métodos de carga en cada escenario, a lo largo del año, consideramos el modelo y las características específicas de los vehículos simulados. Por lo tanto, los vehículos utilizados en nuestras simulaciones reflejan la situación actual del mercado en España (ver Tabla I). El

TABLA II
PARÁMETROS DE SIMULACIÓN

Parametros	Valores
Número de vehículos	365,000 (1.000 * 365 días)
Modelo de llegada de vehículos	Normal: $\mu = 1,080$ min., $\sigma = 120$ min.
Modelo de duración del viaje	Weibull: $\alpha = 45$ min., $\beta = 1,9$, $\gamma = 0$
Modelo de tiempo de carga	Normal: $\mu = 700$ min., $\sigma = 150$ min.
Modelo de nivel de batería	Normal: $\mu = 72$ %, 50 %, y 25 %, $\sigma = 10$ %
Potencia punto de recarga	3,68 kWh (IEC 62196 Modo 1)
Pérdidas por calor	10 %

resto de los parámetros utilizados en las simulaciones se muestran en la Tabla II.

IV. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

En esta sección presentamos los resultados obtenidos para los dos escenarios diferentes descritos en la sección III. El objetivo principal es analizar el rendimiento de los métodos de carga propuestos en condiciones diferentes.

A. Primer escenario: demanda habitual

De acuerdo con Quian et al. [13], el nivel de batería de un vehículo eléctrico después de un día de uso se aproxima al 72 % en promedio. Por lo tanto, en nuestros experimentos bajo un escenario de demanda habitual, consideramos que el nivel promedio de batería que poseen los vehículos antes de recargar es del 71.95 %.

La Tabla III muestra los resultados obtenidos en este escenario. En particular, presentamos: (i) el número de megavatios consumidos al usar cada uno de los métodos de carga, (ii) la cantidad total de euros gastados en cargar un vehículo, (iii) las diferencias entre cada método de carga y el P&C, (iv) el nivel promedio de batería que ha sido recargado durante el proceso, (v) el nivel promedio de batería que presentan los vehículos después de abandonar los puntos de carga, (vi) el número de vehículos cuyo nivel de batería permanece por debajo del 75 %, 50 % y 25 %, y finalmente (vii) el nivel de batería promedio que presentan los vehículos antes de iniciar la recarga.

Como se observa, la cantidad de energía consumida es muy similar para todos los métodos (oscila entre 2,34 y 2,45 MW), excepto para el método Inicio más Barato, que únicamente consume (1,85 MW). Sin embargo, las diferencias en el coste de la electricidad por vehículo son notables (de 104,16 a 349,73€). De hecho, utilizando nuestros métodos, el ahorro de costes en la recarga oscila entre el 53,88 % y el 70,22 %. Sin embargo, la contrapartida del método con mayor ahorro, el I+B, es que las baterías de los vehículos solo se cargan, en promedio, hasta un 94,03 % (aproximadamente -5 % en comparación con los otros métodos).

En cuanto a los niveles de batería de los EVs cuando los vehículos salen del punto de recarga, los resultados obtenidos en nuestras simulaciones son muy similares para todos los métodos (99,62-99,92 %), ex-

cepto para el I+B (94,03 %). Además, observamos que hay una serie de vehículos que finalizan su proceso de recarga con menos del 75 % del nivel de la batería. Esto significa que esos vehículos han comenzado el proceso de carga con un nivel inferior de sus baterías, y la cantidad de tiempo que estuvieron en el punto de carga no fue suficiente para completar el proceso de recarga. Usando los métodos Plug&Charge, C+B y ÚT, la cantidad de vehículos con menos del 75 % de batería es de solo 637 (de 365.000), mientras que si se usa P+B, este número aumenta ligeramente hasta 871 vehículos. Sin embargo, este problema es más notable cuando se usa el método de Inicio más Barato, ya que, en ese caso, aunque los vehículos ya están enchufados, se esperan a recargar hasta que el precio de la energía sea el más barato. De hecho, usando el método I+B, este número aumenta hasta 27.183 vehículos.

En general, en escenarios de demanda habitual, es decir, donde los EVs presentan un buen nivel de batería antes de iniciar el proceso de recarga, tanto el C+B como el ÚT muestran el mejor rendimiento (en términos de batería cargada y ahorro de costes). Por el contrario, el método I+B no parece una buena opción, ya que no garantiza que las baterías se recarguen por completo, por lo que no es adecuado.

B. Segundo escenario: demanda extra

En esta subsección, presentamos los resultados obtenidos en un escenario más exigente. Más específicamente, consideramos que los vehículos alcanzan los puntos de recarga con un nivel de batería muy bajo (en promedio, solo un 24,67 %). Aunque este escenario podría considerarse extremo, nuestro objetivo es evaluar nuestra propuesta bajo diferentes condiciones.

La Tabla IV muestra los resultados obtenidos en el escenario de demanda extra. Como se esperaba, las diferencias entre los diferentes métodos de carga, en términos de energía consumida, son mayores en este grupo de experimentos (se observan consumos desde 3,56 a 6,43 MW). En comparación con el escenario de demanda habitual, se requiere hasta un 162 % más de energía adicional. Bajo estas condiciones exigentes, el método I+B funciona aún peor ya que los vehículos solo alcanzan el 67,11 % de los niveles de la batería (casi un 33 % en comparación con los otros métodos), lo que es claramente insatisfactorio.

En cuanto al coste de la electricidad, existen venta-

TABLA III
RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ESCENARIO DE DEMANDA HABITUAL

Métrica	P&C	C+B	I+B	P+B	UT
megavatios consumidos	2,45	2,34	1,85	2,34	2,38
precio de la electricidad (€/vehículo al año)	349,73	139,29	104,16	161,31	148,79
diferencia de precio comparado con P&C	-	-60,17 %	-70,22 %	-53,88 %	-57,46 %
porcentaje medio de batería cargada	27,98 %	27,98 %	22,08 %	27,80 %	27,98 %
nivel medio de batería final	99,92 %	99,62 %	94,03 %	99,75 %	99,92 %
#EVs nivel de batería <75 %	637	637	27.183	871	637
#EVs nivel de batería <50 %	0				
#EVs nivel de batería <25 %	0				
nivel medio de batería inicial	71,95 %				

TABLA IV
RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ESCENARIO DE DEMANDA EXTRA

Métrica	P&C	C+B	I+B	P+B	UT
megavatios consumidos	6,43	5,93	3,56	5,92	6,35
precio de la electricidad (€/vehículo al año)	855,51	390,87	212,00	371,89	454,31
diferencia de precio comparado con P&C	-	-54,31 %	-75,20 %	-56,53 %	-46,90 %
porcentaje medio de batería cargada	74,97 %	69,90 %	42,44 %	70,44 %	74,97 %
nivel medio de batería final	99,63 %	94,57 %	67,11 %	95,10 %	99,63 %
#EVs nivel de batería <75 %	1.730	16.998	206.778	29.737	1.730
#EVs nivel de batería <50 %	1.000	1.000	121.912	4.410	1.000
#EVs nivel de batería <25 %	538	538	17.004	652	538
nivel medio de batería inicial	24,67 %				

jas significativas al usar nuestros métodos propuestos en comparación con el enfoque tradicional P&C (especialmente al usar el C+B, el I+B y el P+B). En particular, los precios oscilan entre 212 y 855,51€, lo que representa un ahorro desde 46,90 % hasta el 75,20 %.

En cuanto a los niveles de batería cuando los vehículos salen del punto de recarga, en este segundo escenario, la cantidad de vehículos que finalizan su proceso de recarga sin cargar completamente sus baterías aumenta significativamente. El método I+B es claramente incapaz de gestionar adecuadamente la carga de los vehículos en este escenario de demanda extra. Como se muestra, 206.778 vehículos (de 365.000) permanecen con menos del 75 % del nivel de la batería. También es digno de mención que el método UT obtiene los mismos resultados, en términos de batería recargada, que el método P&C, pero reduce un 46,90 % el coste de la electricidad. Mientras tanto, el método C+B incluso puede reducir este coste hasta el 54,31 %, pero la cantidad de vehículos que finalizan el proceso de recarga con menos del 75 % del nivel de la batería aumenta desde 1.730 al usar P&C o UT, hasta 16.998 usando el método de carga C+B.

Aunque los escenarios de demanda extra (al menos con esta cantidad de vehículos de alta demanda de energía) no se pueden encontrar fácilmente en entornos realistas, también hemos demostrado los beneficios de utilizar nuestros enfoques en comparación con el método P&C. Más específicamente, nuestros resultados destacan que el método Último Tramo supera al resto de enfoques, ya que muestra claramente

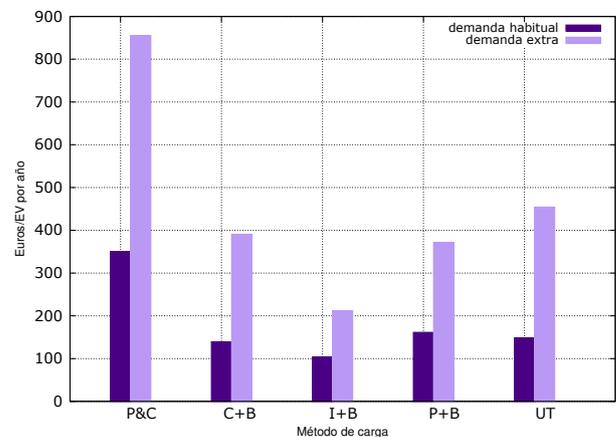


Fig. 3. Promedio de €/año necesarios para cargar un EV.

el mejor resultado en términos de rendimiento, aumento del nivel de batería y ahorro de costes.

C. Comparación de los métodos

Para estudiar mejor las diferencias entre los métodos de carga, en esta sección, presentamos una comparación general de los diferentes métodos de carga en los dos escenarios de demanda de energía presentados anteriormente. Las Figuras 3, 4, y 5 presentan los resultados obtenidos en términos de euros gastados por vehículo, porcentaje de nivel de batería después del proceso de recarga y coste de electricidad (en euros/kWh).

Después de analizar a fondo los resultados obtenidos en los dos escenarios de demanda de carga, se pueden destacar las diferencias más relevantes. Como

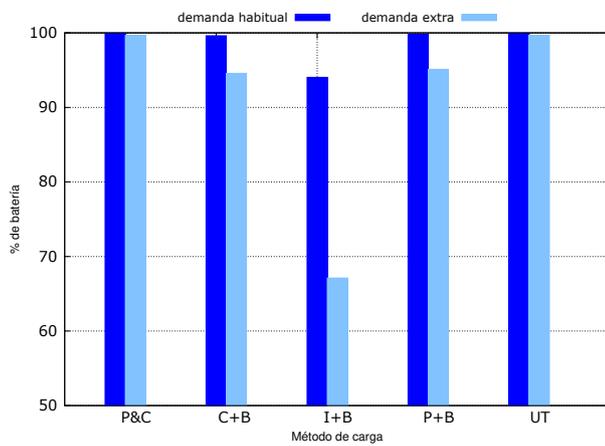


Fig. 4. Nivel de batería del vehículo después de la recarga.

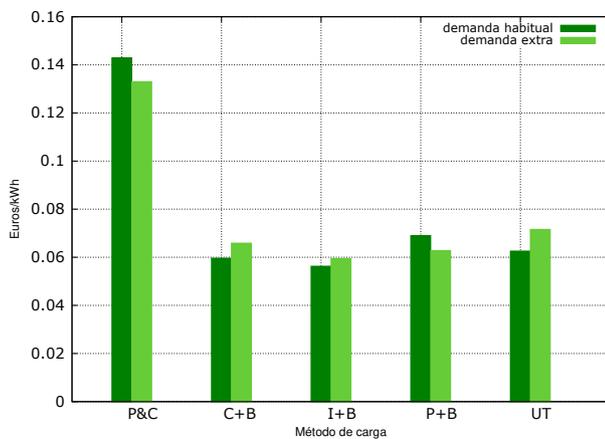


Fig. 5. Promedio de euros/kWh.

se muestra, el total de euros gastados para cargar un vehículo se reduce drásticamente cuando se utilizan nuestros métodos de carga propuestos en comparación con el P&C en todas las circunstancias, es decir, en el escenario habitual y en el de demanda extra (ver la Figura 3).

Cabe mencionar que los mejores resultados se obtuvieron con el método UT, que alcanza los mismos niveles de batería que el método tradicional Plug&Charge en todos los escenarios, pero con una reducción sustancial del coste de la recarga. Más específicamente, UT reduce el precio de la electricidad: (i) un 57,46 % en el escenario de demanda habitual y un 46,9 % en el escenario de demanda extra. Esto se debe a que UT explota el período en que el coste de la electricidad es menor para realizar el proceso de recarga. Por el contrario, cuando el período de tiempo que el vehículo está enchufado no es suficiente para recargar completamente la batería, este método se comporta exactamente de la misma manera que P&C.

Teniendo en cuenta que el modo de carga utilizado era el Modo 1, el método I+B debería descartarse, ya que su rendimiento se ha demostrado insatisfactorio (en términos de nivel de batería) en aquellas situaciones donde los vehículos demandan más energía. Esto se debe a que las baterías no se pueden cargar por completo en el período del mínimo coste de

la electricidad hasta que los vehículos abandonan los puntos de carga. Sin embargo, consideramos que este método podría ser más prometedor cuando se usen modos de carga más potentes (es decir, cuando tenemos corrientes y voltajes más altos), especialmente considerando que este método presenta el coste más bajo en todas las simulaciones (ver Figuras 3 y 5). De hecho, los mejores resultados de precio se obtuvieron en el primer escenario (que consideramos que es el más realista), donde el método I+B presentó un coste de electricidad casi tres veces menor que el Plug&Charge).

Los resultados obtenidos por nuestros métodos, en términos de nivel de batería (ver Figura 4), son muy similares a los obtenidos por el Plug&Charge, pero además presentan una reducción significativa del coste de la electricidad (en términos de €/kWh). La Figura 5 muestra los beneficios de usar nuestros esquemas propuestos. Por ejemplo, usando el UT, podemos reducir el coste de la electricidad entre un 52,86 % y un 55,71 %. Además, se puede observar que el método P+B antepone la reducción del coste de la electricidad antes de la carga de la batería, mientras que el UT asegura un buen nivel de batería a pesar de aumentar ligeramente el coste de la electricidad.

La aparición de vehículos eléctricos con mayor capacidad de batería (más de 90 kWh) puede dificultar la recarga total de la batería, especialmente cuando los vehículos llegan con bajos niveles de carga, y se utilizan modos de baja potencia como el Modo 1. De acuerdo con esto, los puntos de carga más potentes (es decir, aquellos basados en el Modo 2 o el Modo 3) deberían desplegarse ampliamente para garantizar que este tipo de vehículos pueda recargarse adecuadamente.

V. CONCLUSIONES

Las ventas de vehículos eléctricos están aumentando drásticamente, y prevemos que los vehículos eléctricos formarán parte de nuestra vida cotidiana en el futuro cercano. Como las tecnologías utilizadas mejoran continuamente, y las baterías de este tipo de vehículos están ganando capacidad, será esencial mejorar los métodos de recarga al tiempo que se reduce el coste de recargar los vehículos eléctricos.

El método más común utilizado para recargar los vehículos eléctricos es el conocido Plug&Charge. Sin embargo, este método no es muy eficiente ya que no tiene en cuenta ningún parámetro para aumentar la eficiencia. Consideramos que tener en cuenta información valiosa, como los precios de la electricidad, el estado actual de la red eléctrica o el nivel de batería del vehículo mejoraría definitivamente el proceso de carga. De acuerdo con esto, proponemos cuatro métodos de carga, Centrado más Barato, Inicio más Barato, Periodo más Barato, y Último Tramo. Estos métodos buscan maximizar la carga de las baterías mientras se minimiza el coste de la electricidad consumida.

Para evaluar nuestros métodos, utilizamos dos escenarios diferentes (es decir, uno con demanda habi-

tual y otro con una demanda adicional de energía), y simulamos un total de 365.000 vehículos durante todo un año. Los resultados de las simulaciones muestran una mejora que oscila entre el 46,9 % y el 75,2 %, en términos de reducción del coste del proceso de carga, mientras se mantienen niveles de batería similares.

El estudio realizado demuestra que el uso de puntos de carga inteligentes, es decir, que adaptan el proceso de carga de acuerdo con el nivel inicial de batería del vehículo y el margen de tiempo disponible para recargar la batería, es claramente conveniente, ya que el coste de la electricidad puede ser reducido de forma drástica.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido financiado por el *Gobierno de Aragón y el Fondo Social Europeo*, mediante el proyecto T40_17D.

REFERENCIAS

- [1] N. Scovronick, "Reducing Global Health Risk," World Health Organization, Tech. Rep., 2015, available online: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/189524/1/9789241565080_eng.pdf (accedido el 4 de Junio de 2018).
- [2] A. Prüss-Üstün and C. Corvalán, "Preventing disease through healthy environments," *Towards an estimate of the environmental burden of disease. Geneva: World Health Organization*, 2006.
- [3] I. Barofsky, "Quality of life research: A critical introduction," *Quality of Life Research*, vol. 13, no. 5, pp. 1021–1024, 2004.
- [4] European Commission, "EU action against climate change-Research and development to fight climate change," Tech. Rep., 2007, available online: <http://www.pedz.uni-mannheim.de/daten/edz-bn/gdu/07/research.pdf> (accedido el 4 de Junio de 2018).
- [5] Observatorio Tecnológico de la Energía, "Mapa tecnológico movilidad eléctrica," Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Spain, Tech. Rep., 01 2012, available online: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Movilidad_Electrica_ACC_c603f868.pdf (accedido el 4 de Junio de 2018).
- [6] MINETUR, "Estrategia Integral para el impulso del Vehículo Eléctrico en España," Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Spain, Tech. Rep., 2010, available online: <http://www.minetad.gob.es/es-es/gabineteprensa/notasprensa/documents/estrategiaintegralvehiculoelctrico060410.pdf> (4 de Junio de 2018).
- [7] L. Schewel and D. M. Kammen, "Smart transportation: Synergizing electrified vehicles and mobile information systems," *Environment*, vol. 52, no. 5, pp. 24–35, 2010.
- [8] International Energy Agency, "Global EV Outlook 2017. Two million and counting," Tech. Rep., 2017, available online: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEVOutlook2017.pdf> (accedido 4 de Junio de 2018).
- [9] —, "Energy technology perspectives: Catalysing energy technology transformations," 2017, available online: <https://www.iea.org/etp2017/summary/> (accedido el 4 de Junio de 2018).
- [10] Framework Convention on Climate Change, "Adoption of the Paris agreement," United Nations, Tech. Rep. FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1, 12 2015, available online: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf> (accedido el 4 de Junio de 2018).
- [11] Clean Energy Ministerial, "Accelerating the global clean energy transition," 2018, available online: <http://www.cleanenergyministerial.org/> (accedido el 4 de Junio de 2018).
- [12] ANFAC, "Informe Anual 2016," Asociación española de fabricantes de automóviles y camiones, Tech. Rep., 2017, available online: <http://www.anfac.com/documents/tmp/MemoriaANFAC2016.pdf> (accedido el 4 de Junio de 2018).
- [13] K. Qian, C. Zhou, M. Allan, and Y. Yuan, "Modeling of load demand due to EV battery charging in distribution systems," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 26, no. 2, pp. 802–810, 2011.