

# Integración de vehículos eléctricos a las redes de distribución: desafíos en la demanda

## Integration of electric vehicles to power distribution networks: challenges in the demand

### **Sebastián U. Romero**

UTN Facultad Regional Santa Fe - Argentina  
sebastianulisesromero@hotmail.com

### **Diego M. Ferreyra**

UTN Facultad Regional San Francisco - Argentina  
dferreyra@sanfrancisco.utn.edu.ar

### **Resumen**

En este trabajo, se detallan aspectos técnicos que demuestran el impacto de la recarga de vehículos eléctricos sobre las redes de distribución. En primer lugar, se muestra el perfil típico de consumo durante un ciclo de recarga de baterías de un vehículo eléctrico. Luego, se analizan los resultados de estudios sobre el perfil de comportamiento de usuarios de vehículos eléctricos. Finalmente, se contrastan dichos resultados con las curvas diarias típicas de demanda del sistema interconectado nacional argentino, a fin de mostrar el desafío que implica la integración de los vehículos eléctricos a las redes de distribución locales. Se menciona al perfil de las estrategias y normativas que deben sostenerse para racionalizar la integración de este tipo de movilidad y minimizar sus impactos negativos.

**Palabras clave:** vehículos eléctricos, gestión de la demanda, redes de distribución

### **Abstract**

In this work, technical aspects are detailed which show the impact of electric vehicle (EV) recharging on power distribution networks. Firstly, the typical consumption profile is shown for an EV battery recharging cycle. Then, results are presented for studies made on the behavior profile of EV users. Finally, said results are compared with the typical daily load curves for the Argentinean interconnected grid, which demonstrates the challenge in the integration of electric vehicles to power distribution networks. A profile is mentioned for strategies and regulations to be in force for a rational integration of this type of mobility with minimum negative impacts.

**Keywords:** electric vehicles, demand side management, power distribution networks

## Introducción

En los últimos años, ha habido una fuerte concientización sobre el calentamiento global por efecto invernadero: se visualiza que el rumbo actual conlleva a una situación insostenible y que se requiere un cambio para que nuestras acciones no perjudiquen a las futuras generaciones. Esto se traduce en convenios y directivas que se han ido adoptando a fin de combatir el cambio climático y sus efectos, como el Protocolo de Kioto y la Cumbre de París (Gore *et ál.*, 2006; PEN, 2021). Dado que el transporte es uno de los sectores más responsables por las emisiones de CO<sub>2</sub>, es un desafío mundial encontrar tecnologías alternativas para propulsar los vehículos. Las propuestas más recientes se pueden resumir en vehículos propulsados a hidrógeno o a biocombustibles, y los vehículos eléctricos (VE)

Como medio de propulsión, la ventaja del hidrógeno es que, luego de su uso, solo se obtiene vapor de agua como residuo local. Actualmente, la explotación del hidrógeno presenta inconvenientes: la eficiencia del proceso para su obtención no es buena, ronda solo el 30 %, y la inversión para su producción es elevada. Otro inconveniente es su almacenamiento: por ser un gas, es necesario almacenarlo a presión elevada y temperatura reducida para alcanzar niveles razonables de densidad de energía. En cuanto a los biocombustibles, su ventaja es que pueden usarse en vehículos convencionales, con un funcionamiento similar al de los derivados del petróleo; su inconveniente es que, para cubrir la demanda prevista solo con biocombustibles, sería necesario cultivar grandes superficies y competir fuertemente con la producción de alimentos, lo cual es una solución cuando menos polémica. En lo que respecta al VE, resulta una solución conveniente desde el punto de vista ambiental y que ya se está implementando: gran parte de las empresas automovilísticas ya cuentan con al menos un modelo propio basado en propulsión eléctrica. Una ventaja de los VE es que no generan contaminantes locales durante su funcionamiento: las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que le pueden corresponder dependen del medio de generación empleado para recargar sus baterías. Cuando la recarga se realiza íntegramente con energía eléctrica generada por fuentes renovables, se minimizan o eliminan las emisiones debido a la mayor eficiencia global del proceso desde que se genera la energía eléctrica hasta la propulsión del motor eléctrico del VE (Campos, 2019; Pérez, 2019).

Hay inconvenientes considerables para impulsar los VE: la infraestructura para abastecerlos, y su reducida autonomía en comparación con vehículos convencionales. Pero cabe aclarar que los motores eléctricos usados en VE tienen eficiencias del orden del 90 %, frente a los de combustión interna, que están en el 30-40 %. Por tanto, la baja densidad energética del motor eléctrico se compensa con su elevada eficiencia, y los VE son ampliamente considerados en el sector del transporte como una tecnología prometedora para reducir el consumo de energía y las emisiones de GEI. También, la tendencia mundial es hacia las energías renovables y la diversificación de fuentes para generación de energía eléctrica a fin de minimizar problemas de seguridad de abastecimiento (Campos, 2019). Dado este escenario y en sintonía con la tendencia mundial a la racionalización del uso de la energía, se destacan en este trabajo algunos desafíos técnicos en función de experiencias de otros países donde ya existe un grado de convivencia importante con los VE, para remarcar la necesidad de acompañar la expansión de la movilidad eléctrica.

## Desarrollo

La demanda eléctrica de los VE está condicionada por sus baterías y el sistema de recarga: características como autonomía, velocidad máxima, tiempo de recarga y costo dependen en gran medida de la tecnología de las baterías. Hay diferentes tipos de baterías para VE, pero hoy están en auge las de litio por sus excelentes prestaciones, y se espera que sea la tecnología más extendida en el futuro. Argentina, Bolivia y Chile están entre las regiones del mundo con mayor presencia de este metal (Peiró, 2013). Un cargador de baterías de ion de litio proporciona una corriente constante a la batería hasta que su tensión alcance el valor nominal (*float voltage*). La batería se puede considerar como un condensador en serie con una pequeña resistencia serie equivalente (ESR, por sus siglas en inglés). Cada paquete de baterías incluye una protección de corriente dada por MOSFET en oposición y un sistema de control analógico que evita sobrecargas y excesos de descarga controlando la tensión de celda y su corriente de descarga. Este circuito de protección constituye una protección secundaria para evitar sobrecargas.

En la Fig. 1, se muestran el circuito equivalente de un paquete de baterías de ion de litio y su característica de carga (Fairchild, 2010). Al cargar una batería, suponiendo que no estaba completamente descargada, se proporciona una corriente  $I_{CHARGE}$  constante hasta que la tensión  $V_{BAT}$  recupera su valor nominal  $V_{FLOAT}$ . A partir de allí, la  $I_{CHARGE}$  queda limitada por la tensión  $V_{CELL}$  de la celda. A medida que la tensión interna de la celda se aproxima a  $V_{BAT}$ , la corriente de carga sigue reduciéndose hasta un valor de corriente de terminación  $I_{TERM}$ , del orden del 10 % de la corriente de carga plena. Una vez alcanzada la corriente de terminación, la carga se detiene y no se vuelve a iniciar hasta que  $V_{BAT}$  se reduzca por debajo de un determinado umbral (Fairchild, 2010).

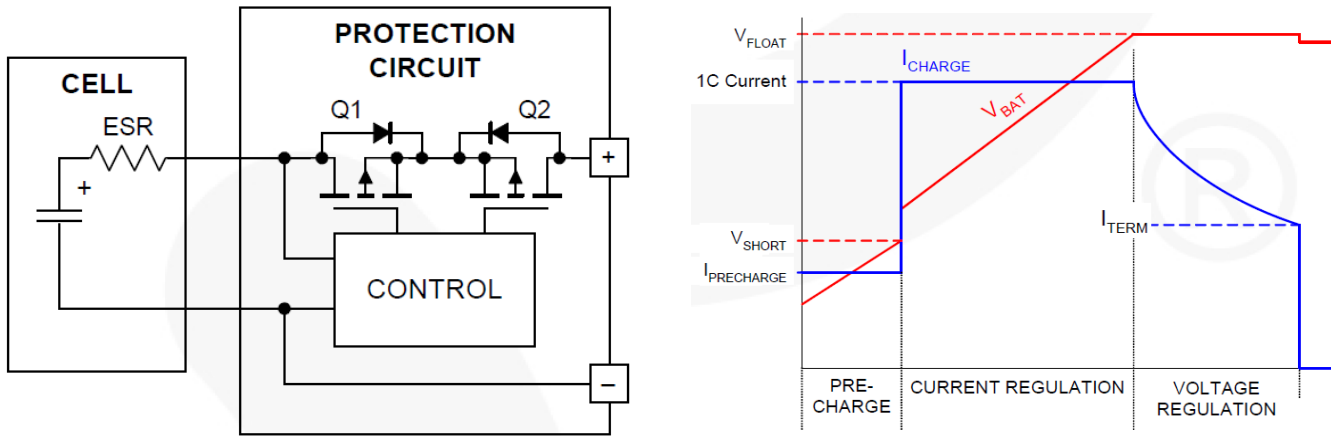


Figura 1. Paquetes de baterías de litio: (a) circuito equivalente, (b) característica de carga (Fairchild, 2010).

En la Fig. 2, se muestran dos perfiles de carga diferentes aplicados sobre un mismo VE: en la Fig. 2(a), se ve el comportamiento de la tensión y la corriente durante un proceso de carga lenta que demandó un valor de corriente casi constante de 16 A y una potencia monofásica de 3,6 kW. En Fig. 2(b), se ve la evolución temporal de las mismas variables para un proceso de carga rápida que requirió una potencia trifásica de unos 30 kW (Berizzo, 2015). En ambos casos, la corriente es casi constante mientras aumenta la tensión interna de la batería hasta alcanzar su tensión nominal; luego, la corriente de carga se reduce durante un tiempo en el cual se completa la carga de la batería. Este análisis contribuye a ponderar mejor el potencial impacto de los VE al momento de su recarga, ya que la mayoría de los sistemas de distribución no tienen previsto abastecer una demanda con estas características, que es muy diferente a las cargas tradicionales que se podrían esperar de los consumos residenciales (Berizzo, 2015).

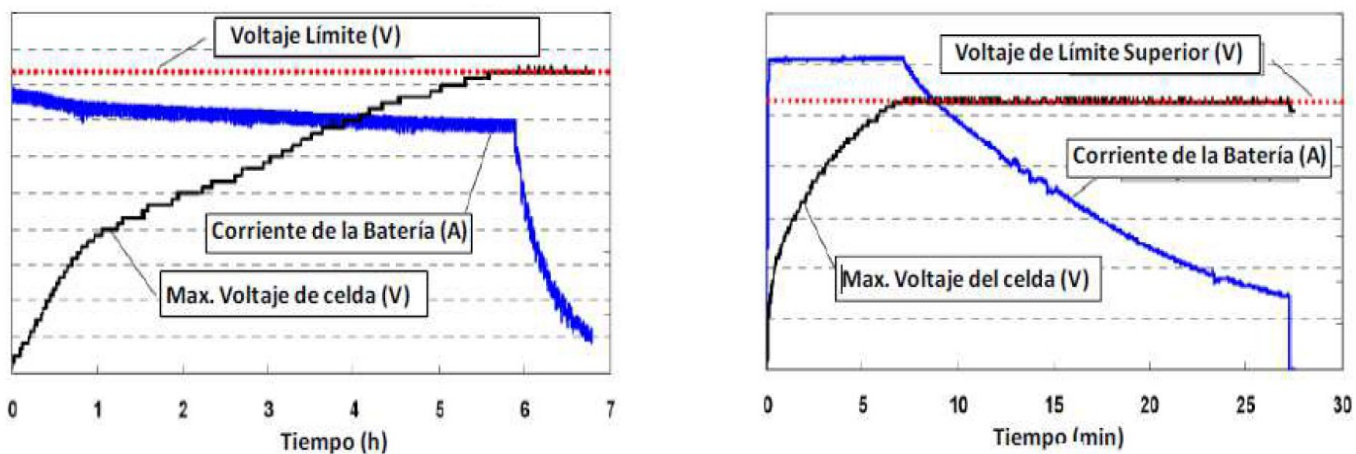


Figura 2. Características de carga: (a) lenta y (b) rápida (Berizzo, 2015).

Desde el inicio de esta tecnología, se prevé que, si los usuarios incorporaran VE sin el conocimiento por parte de la distribuidora eléctrica, esto implicaría para la red de distribución incrementos en la demanda con una localización geográficamente aleatoria y dispersa. Además, los tamaños de los vehículos serán diversos en función de las necesidades de los usuarios, lo que implica también variabilidad en cuanto a potencia de carga y capacidad de baterías. La incertidumbre sobre el comportamiento de los usuarios de VE es otro de los problemas por resolver para lograr una integración óptima de los VE en las redes. En esta línea, España realiza el estudio periódico MOVILIA (Encuesta de Movilidad de las Personas Residentes en España) a fin de conocer el patrón de comportamiento de los usuarios de VE y estimar los períodos del día en que los VE están conectados en los hogares. Se determinó que el primer viaje de la mañana se produce entre las 6:00 h y las 10:00 h. con el comienzo de la jornada laboral, y el retorno a casa se da entre las 19:00 h y las 24:00 h. Se comprobó que los VE quedan estacionados en los hogares entre las 19:00 h y las 7:00 h mayoritariamente y que, a nivel doméstico, el modo de carga más usado es el de carga lenta, correspondiente a una potencia de 3,7 kW; compatible con el tiempo disponible, suficiente para la carga (4-8 h); y más adecuado para ambientes residenciales. Esta información es la que se presenta en la Fig. 3 (Alonso *et ál.*, 2014).

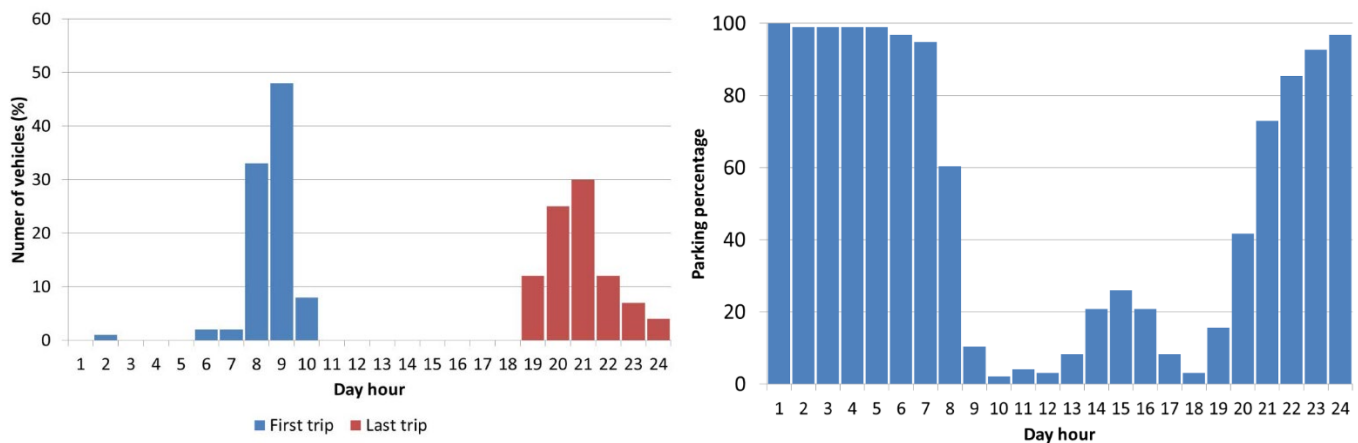


Figura 3. Distribuciones horarias: (a) primeros y últimos viajes del día con VE, y (b) estacionamiento de VE a nivel residencial (Alonso *et ál.*, 2014).

Por otro lado, en un estudio sobre los efectos de los VE en Dublín, se recabó información durante un año de una red piloto de baja tensión donde algunos usuarios usaban VE para moverse. En el período de estudio, los VE fueron rotados a otros usuarios con otras ubicaciones en la misma red, para obtener información de recargas en diferentes puntos. En la Fig. 4, se muestran las distribuciones de probabilidad para el momento de conexión de los VE y la demanda diaria de energía de cada uno. La mayoría de las conexiones de VE ocurren todos los días después de las 16:00 h, y que el momento más elegido por los usuarios está en torno a las 22:30 h, seguido por las 18:30 h. Esto sugiere que la mayoría de los usuarios optan por cargarlos al llegar a su casa luego de volver del trabajo (suponiendo un horario laboral típico). El segundo pico muestra un número significativo de conexiones justo antes del momento de acostarse, lo que sugiere que algunos propietarios posponen la carga hasta bastante después del último viaje del día. La batería de cada VE usado en este estudio tenía una capacidad de 20 kW·h. Dado que se observan casos donde el requerimiento diario de energía superó ese valor, se infiere que hubo un número de usuarios que realizó al menos dos cargas en 24 h. Se observa que el consumo diario típico se concentra en 8-9 kW·h, la mitad de la capacidad de la batería. También se aprecian registros de 0 kW·h y 20 kW·h menos frecuentes, lo que indica que algunos usuarios no cargaban diariamente el vehículo, sino que esperaban a agotar totalmente la batería (Richardson *et ál.*, 2013).

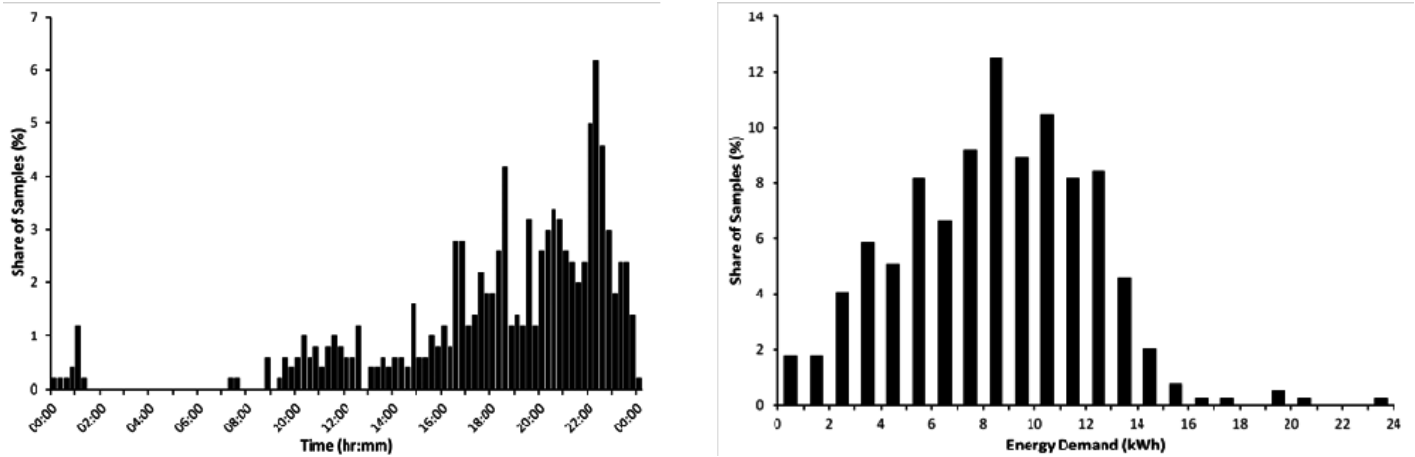


Figura 4. Funciones de distribución de probabilidad: (a) momentos de conexión de VE y (b) requerimiento diario de energía de los VE (Richardson *et al.*, 2013).

Por otro lado, en la Fig. 5, se muestran las curvas típicas de demanda de verano e invierno para el sistema interconectado nacional argentino (SIN). Estas curvas siguen la tendencia ya observada en una cantidad considerable de años recientes y constituyen la sumatoria del comportamiento de todos los sistemas de subtransmisión regionales del país (CAMMESA, 2021).

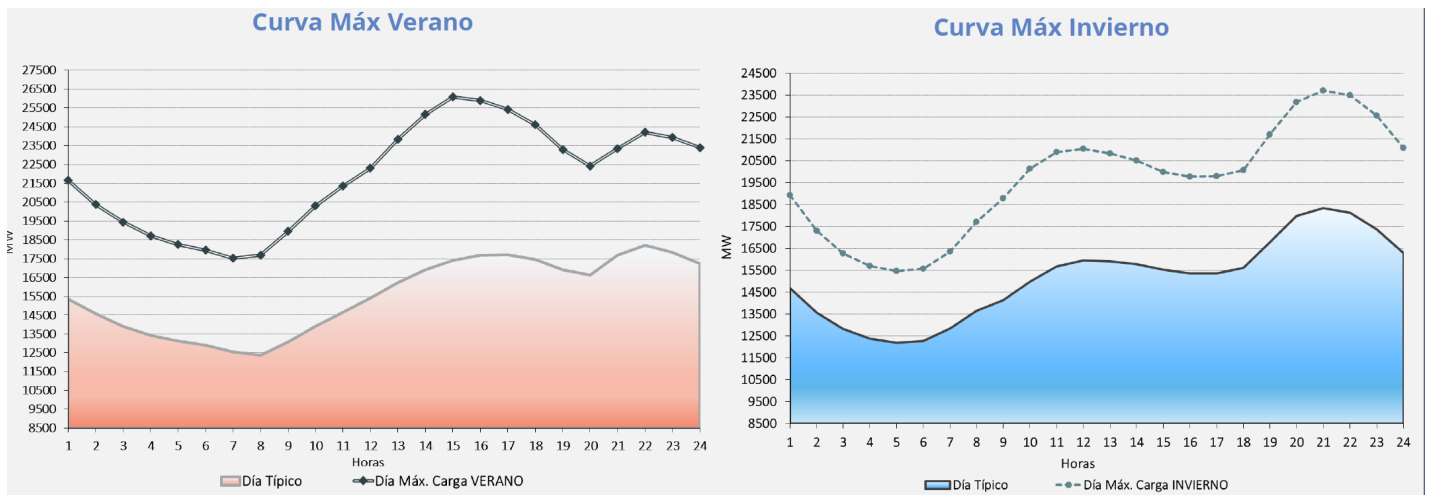


Figura 5. Curvas diarias de demanda típicas para 2020 (CAMMESA, 2021).

Se observa que, si se dejara “descontrolada” la recarga de VE (recarga de baterías a voluntad, especialmente vespertina), la demanda adicional asociada incidiría justo en los períodos de mayor demanda. Considerando que la generación en el SIN debe compensar en todo momento la demanda, tales picos implican la necesidad de activar más centrales de generación. Al contrario, durante el valle, pueden existir excedentes de generación que impliquen desaprovechar centrales de generación renovables no gestionables, como hidráulicas de pasada o eólicas. Por tanto, un aspecto clave para una integración eficiente de los VE implica estrategias que gestionen conscientemente la demanda relacionada con tales recargas. Esta premisa va tomando forma de manera gradual con normativas nacionales y jurisdiccionales para moderar el impacto de los VE sobre el sistema eléctrico (OIT, 2021). En la Fig. 6, se muestra cómo un 5 % de incremento de energía diaria por la recarga de VE incidiría sobre la curva de demanda típica de verano e invierno de la figura anterior: la demanda máxima en el horario pico crece alrededor de un 24 %

con respecto a los valores sin VE. Teniendo en cuenta que la demanda es la que más incide sobre la inversión en el sistema eléctrico y el consecuente costo de la energía, esta situación resulta suficientemente llamativa.

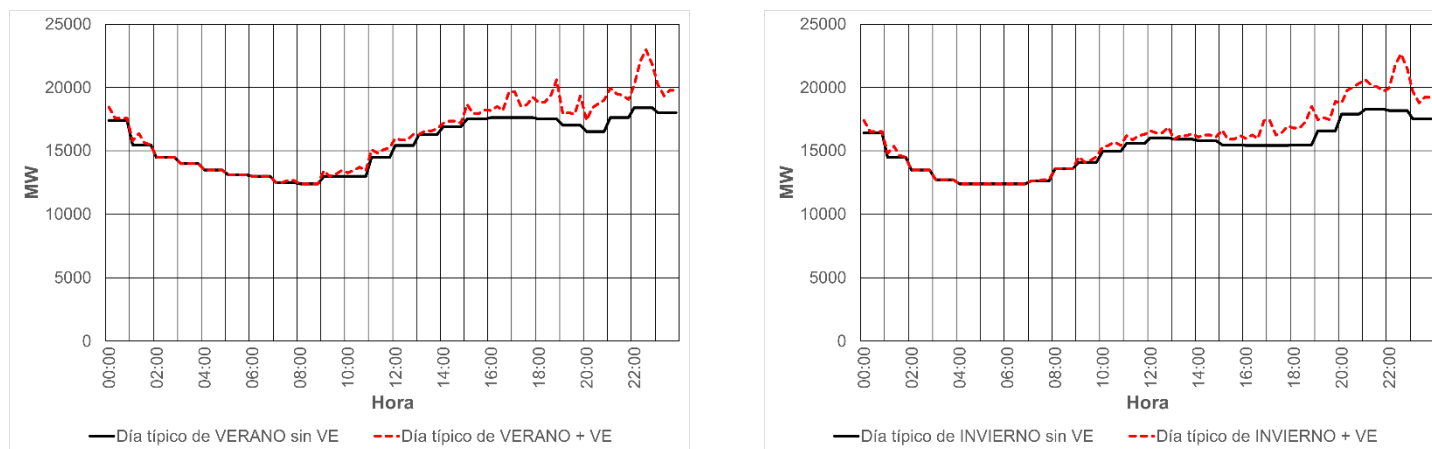


Figura 6. Incidencia sobre las curvas típicas de verano e invierno suponiendo un 5 % adicional de energía por recarga de VE.

## Discusión y conclusiones

En este trabajo, se detallaron aspectos técnicos que implican un desafío para la demanda de las redes de distribución por la integración de los vehículos eléctricos (VE). Se remarca la necesidad de sostener estrategias y normativas relativas a la gestión de carga de los VE para lograr una penetración controlada de esta movilidad sustentable. De lo contrario, se producirían cargas adicionales en los sistemas eléctricos durante horarios críticos de máxima demanda que podrían afectar la calidad de energía y de servicio del sistema, además de incidir negativamente sobre su operación técnica y económicamente óptima. Entre otros aspectos, se detalló el perfil habitual de consumo en el proceso de recarga de un VE típico, y los resultados de estudios sobre patrones de comportamiento de los usuarios de VE realizados en países donde su uso ya está más extendido. Es esperable que las normativas y las señales económicas vigentes y en desarrollo en el país permitan una integración controlada de este tipo de tecnología de movilidad, a fin de tender a la reducción del impacto ambiental del transporte.

## Referencias

- Alonso, M., Amaris, H., Germain, J. G., Galan, J. M. (2014). "Optimal charging scheduling of electric vehicles in smart grids by heuristic algorithms". *Energies*, 7(4), 2449-2475.
- Berizzo, R. (2015), "Haciendo de la electricidad el combustible de hoy", UTN Facultad Regional Rosario.
- Campos, R.; Pérez, G. (2019). "Tecnología y recambio energético en el transporte automotor de América Latina y el Caribe". Disponible en <[https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44439/S1900028\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44439/S1900028_es.pdf)>.
- CAMMESA (2021), Informe Anual 2020. Disponible en <<https://microfe.cammesa.com/static-content/CammesaWeb/download-manager-files/Informe%20Anual/INFORME%20ANUAL%202020%20VF.pdf>>.
- Fairchild (2010), AN9721 Li-Ion Battery Charging Basics, Featuring the FAN5400 / FAN5420 Family of PWM Battery Chargers, Disponible en <<https://www.mouser.tw/pdfdocs/AN9721.PDF>>.



Gore, A., O'Connor, J., "Una verdad incómoda". Disponible en <[https://www.documaniatv.com/naturaleza/al-gore-una-verdad-incomoda-video\\_417669111.html](https://www.documaniatv.com/naturaleza/al-gore-una-verdad-incomoda-video_417669111.html)> (presentación basada en Gore, A., O'Connor, J. [2007]. *An inconvenient truth: The crisis of global warming*. New York: Viking).

Organización Internacional del Trabajo (OIT, 2021). "Inventario de políticas relacionadas a la economía verde en Argentina". Oficina de país de la OIT para la Argentina. Disponible en < [https://www.un-page.org/files/public/inventario\\_de\\_politicas\\_relacionadas\\_a\\_la\\_economia\\_verde\\_en\\_la\\_argentina\\_inventory\\_of\\_policies\\_related\\_to\\_the\\_green\\_economy\\_in\\_argentina.pdf.pdf](https://www.un-page.org/files/public/inventario_de_politicas_relacionadas_a_la_economia_verde_en_la_argentina_inventory_of_policies_related_to_the_green_economy_in_argentina.pdf.pdf) >.

Peiró, L. T., Méndez, G. V., & Ayres, R. U. (2013). "Lithium: sources, production, uses, and recovery outlook". *Jom*, 65(8), 986-996.

Pérez Mencía, C. (2019). "Estudio de alternativas para la propulsión de vehículos colectivos para el transporte de viajeros por carretera". Trabajo fin de grado (Ingeniería de Recursos Energéticos), Universidad de Cantabria.

Poder Ejecutivo Nacional (PEN, 2021). "Acuerdo de París". Portal oficial del Estado argentino Argentina.gob.ar. Disponible en <<https://www.argentina.gob.ar/ambiente/cambio-climatico/acuerdo-de-paris>>.

Richardson, P., Moran, M., Taylor, J., Maitra, A., & Keane, A. (2013). "Impact of electric vehicle charging on residential distribution networks: An Irish demonstration initiative", 22<sup>nd</sup> International Conference on Electricity Distribution, Stockholm, 10-13 June 2013.