

AVANCES DE INTEGRACIÓN ENERGÉTICA EN MENDOZA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS Y SISTEMAS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA: MODELO LEAP

Andrés O. Benito¹, Alejandro P. Arena, Paula D. Rodríguez

¹ Grupo CLIOPE, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza. J. Rodríguez 273, Ciudad de Mendoza, Pcia. de Mendoza, Argentina, Tel: +54-261-5244693. E-mail: andresbenito@frm.utn.edu.ar

RESUMEN: Este trabajo presenta herramientas tendientes hacia la evaluación de oportunidades y amenazas que enfrenta el sector energético, para la posterior toma de decisiones basadas en evidencia. Mediante el ejercicio de proposición de escenarios como posibles trayectorias a largo plazo y no como pronósticos, su principal objetivo fue presentar los avances del modelado prospectivo en LEAP (Low Emissions Analysis Program) de la integración de vehículos eléctricos (EV) e instalaciones fotovoltaicas de generación distribuida conectadas a la red en sistemas energéticos regionales como el de Mendoza. Los resultados encontrados muestran que una alta penetración de tales instalaciones supondría un cambio notorio en la configuración de la matriz eléctrica provincial. Por otra parte, se evidencia que la demanda de electricidad de los EV será mayor que la electricidad inyectada a la red por estos en una configuración Vehicle to Grid, por lo que se requiere evaluar estrategias adicionales que fomenten su uso. Asimismo, se constata que la sustitución de vehículos de combustión interna por vehículos eléctricos como medida tendiente a la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero no serviría como tal, actuando de forma aislada de una política de transformación de la matriz eléctrica, con incorporación de fuentes renovables de energía.

Palabras clave: Prospectiva energética. Vehicle To Grid. Cambio climático. Tecnología fotovoltaica.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad y a nivel mundial, los combustibles fósiles son las fuentes de energía dominantes tanto para el sector del transporte como para el sector de generación de energía. A nivel nacional, Argentina no escapa a esa realidad y tampoco la provincia de Mendoza, con sus 1.440 MW de potencia instalada y 4.852.403 MWh de energía eléctrica generada en el 2018, de los cuales el 63,90% correspondió a procesos que utilizan combustibles fósiles (7,31% por Turbinas a Gas; 4,91% por Turbinas a Vapor; 49,38% por Ciclo Combinado; 2,29% por Motores a Combustión Interna), el 36,09% a procesos hidráulicos (31,9% no renovables; 4,12% renovables) y un 0,012% a generación distribuida (GD) con tecnología fotovoltaica (FV). Se destaca que para dicha producción de electricidad se utilizaron 521.260 TeP de gas natural y 9.347.576 TeP de fuel oil (CAMMESA, 2018; EPRE, 2019).

Aspectos relativos al Sector Transporte: El contexto de degradación ambiental actual, donde se destaca la problemática del cambio climático, y la disminución de las reservas convencionales de combustibles fósiles han alimentado diversos esfuerzos para reducir el consumo de estos combustibles. En el sector del transporte, los vehículos eléctricos (EV – de su sigla del inglés Electric Vehicles) son una solución prometedora, con un ritmo de crecimiento notable en el mercado y con potencialidad para reemplazar a los vehículos con motor de combustión interna (International Energy Agency – IEA, 2019).

En este sentido, la Dirección Nacional de Escenarios y Planeamiento Energético de la Nación publicó proyecciones de la penetración de EV a nivel nacional bajo cuatro escenarios proyectados al año 2030: i) dos escenarios de políticas existentes (denominados Tendencial y Eficiente), donde no se hace una promoción activa de la electromovilidad, considerando un 12% de ventas de autos livianos eléctricos, lo que representa una participación menor al 2,5% de EV sobre el total del parque automotor; ii) dos escenarios de políticas activas (denominados Electrificación y Gasificación). El primero de ellos se basa en una estrategia de promoción de la electromovilidad, considerando que el 30% y el 50% de ventas de autos livianos y de buses de corta distancia sean eléctricos, respectivamente, que equivale a una participación de 5,6% de la electromovilidad en el parque automotor nacional (Secretaría de Energía de la Nación, 2019).

La integración entre sistemas de generación distribuida con tecnología fotovoltaica y los EV. Además de ser una de las estrategias para dar solución a desafíos como el cambio climático, los EV pueden considerarse como una fuente de generación distribuida (GD) de energía eléctrica, ya que la mayoría de los vehículos particulares están estacionados casi el 95% del tiempo de uso (Bull y CEPAL, 2003). Por tanto, podrían permanecer conectados a la red eléctrica de distribución para volcar energía almacenada en sus baterías, bajo el concepto de Vehicle to Grid (V2G) (Guille y Gross, 2009), y/o ser un elemento almacenador distribuido de energía (Ehsani et al., 2012). En la provincia de Mendoza, es notoria la creciente penetración de sistemas de generación distribuida, con una participación dominante de la tecnología solar fotovoltaica. Esta penetración ocasiona cierto estrés en la red eléctrica de distribución como consecuencia de una inyección impredecible e intermitente de energía, asociada a la disponibilidad variable del recurso. Sin embargo, la mayoría de los estudios concuerdan en que es viable la integración de los sistemas fotovoltaicos a las redes de energía eléctrica, y que una solución para equilibrar la generación e inyección de energía de estas fuentes es la adopción de sistemas estacionarios o dinámicos de almacenamiento de energía eléctrica que pueden absorber o volcar energía a la red en casos de exceso o déficit de oferta, respectivamente. En este caso, los EV, operando bajo una configuración V2G (Richardson, 2013), funcionarían como un moderador de energía para regular la operación de la red y para ofrecer funcionalidades auxiliares (Shafie-Khah et al., 2016), que no se exploraron en este trabajo. Sin embargo, se requiere de un exhaustivo análisis multidimensional para enfrentar el desafío que presenta la integración de un gran número de EV en una red de distribución de energía eléctrica (Bessa y Matos, 2012). La realización de estos análisis se posiciona como un punto innovador dentro del marco de los estudios prospectivos energéticos regionales, tomando como supuesto que la mayoría de las estaciones de carga de EV serán instaladas a nivel domiciliario (Shaaban et al., 2012), sin considerar, en esta instancia, aquellas que puedan tomar lugar en espacios públicos (Tulpule, et al., 2013).

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es presentar los avances en materia de prospectiva energética a través del modelo LEAP (*Low Emissions Analysis Program*) sobre la integración de vehículos eléctricos y sistemas fotovoltaicos de generación distribuida conectados a la red en sistemas energéticos regionales, particularmente en la provincia de Mendoza. Al mismo tiempo, se busca estudiar el efecto de la sustitución de vehículos nafteros por eléctricos en relación al impacto potencial sobre el cambio climático. La importancia de este análisis radica en explorar la forma en que se planifica y organiza la integración de una cantidad creciente de dichas tecnologías, de manera que ambas cumplan con los requerimientos de operación y estabilidad de la red eléctrica de distribución al trabajar de forma complementaria, y aseguren una disminución del impacto sobre el cambio climático.

METODOLOGÍA

La metodología utilizada se enmarca en la elaboración del primer estudio prospectivo subnacional a largo plazo de los sectores oferta y demanda de electricidad de la provincia de Mendoza, utilizando el modelo LEAP (Heaps, 2021). En esta dirección, se consideró particularmente la interacción entre el almacenamiento distribuido de energía, mediante las baterías alojadas en los EV, y la generación

distribuida de energía eléctrica, dada por sistemas con tecnología fotovoltaica, ambas alternativas como una opción de flexibilidad en los sistemas eléctricos subnacionales con alta participación de fuentes variables de energía renovable.

Sobre el modelo utilizado: El modelo LEAP es una de las herramientas de modelado más ampliamente utilizada para el análisis de políticas energéticas y evaluación de mitigación del cambio climático (McPherson y Karney, 2014), con el objeto de plantear diferentes escenarios de prospectiva energética a diversas escalas geográficas. Cada uno de los sistemas energéticos de las regiones que se modelan en LEAP, cualquiera sea su escala, deben estructurarse en tres ramas principales: i) Demanda; ii) Transformación y iii) Recursos. Las primeras dos requieren una carga intensiva de información sobre el sistema modelado, mientras que la tercera se desprende principalmente de los requerimientos energéticos simulados.

El sistema energético de Mendoza considerado para este estudio: Para modelar el sistema energético de Mendoza, se consideró que la rama de la Demanda está compuesta por los sectores Demanda de Electricidad (agregada para todo el sistema energético de Mendoza) y Transporte de Pasajeros; y la rama Transformación, por el sector Transporte y Distribución de Energía Eléctrica, y por el sector Generación de Energía Eléctrica. Además, la operación del sistema energético de Mendoza requiere especificar detalles técnicos y temporales, definidos para un conjunto de particiones temporales (Time Slices) que permiten detallar cómo varían las demandas y la oferta de energía. Para este propósito, se eligió en LEAP un enfoque detallado en el que cada año se divide en un número determinado de particiones basadas en grupos mensuales y grupos para las 24 horas del día. Esto conduce a 288 particiones temporales, equivalentes a: i) una división estacional, que contiene un grupo para cada mes del año, es decir, doce grupos estacionales; y ii) una agrupación por horas, que contiene un grupo para cada hora del día, es decir, grupos de 24 horas.

Construcción de Escenario: Para conducir el análisis, se diseñó una serie de escenarios considerando proyecciones de largo plazo. Estos escenarios son explicaciones de cómo podría evolucionar el sistema energético de Mendoza, bajo ciertos condicionamientos técnicos, socioeconómicos y políticos (Fig. 1). La línea de base o estado inicial y común sobre las que se construyeron estos senderos energéticos es la que correspondió a la situación en materia energética de la provincia en el año 2018.

Para el sector Demanda de Electricidad, se consideró que la demanda bruta de electricidad fue de 5.927.452 MWh/año, de los cuales 1.075.627 MWh/año fueron importados mediante generación externa a la provincia, correspondiente al Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) (CAMMESA, 2018). Asimismo, la Curva de Carga correspondiente a este año, en forma de porcentaje de Carga Anual (% de Carga Anual) y para las particiones temporales mencionadas, presenta una carga pico de 0,47% de Carga Anual, equivalente a 565,939 MWh/Mes en enero.

Por otra parte, el sector Transporte de Pasajeros fue desagregado en dos subsectores: Vehículos Privados (automóviles y livianos) y Autobuses Públicos, con el primero de ellos compuesto por las tecnologías: Nafta (con 429.190 Vehículos y 284.341 TeP/Año de combustible consumido) y Diésel (con 241.419 Vehículos y 145.283 TeP/Año de combustible consumido); mientras que el segundo subsector está compuesto por tecnología Diésel (con 3.710 autobuses y 59.768 TeP/Año) (ADEFA, 2018).

En cuanto al sector Transformación, el subsector Transporte y Distribución de Energía Eléctrica quedó definido para el año base por un valor medio de pérdidas, desde el año 2003 al año 2017, de 9,8% (equivalente a 529.092 MWh) (EPRE, 2019). Por su parte, la caracterización del subsector Generación de Energía Eléctrica para el año 2018 se presentó el apartado introductorio (sección 1) según la información reportada por CAMMESA (2018).

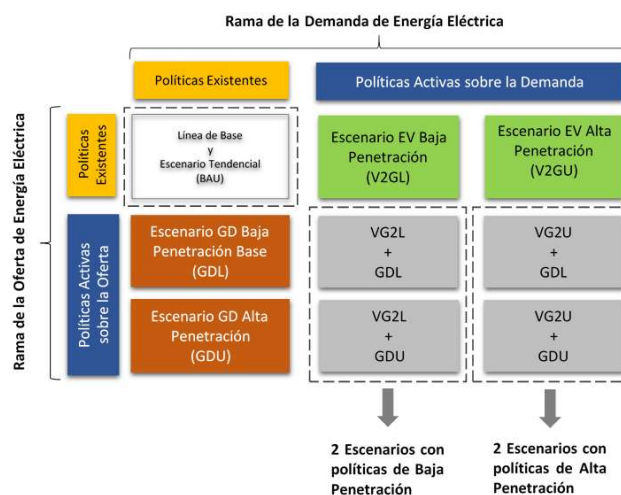


Figura 1: Configuración de escenarios propuestos para nuestro modelo

a. *Escenario Tendencial (BAU)*: En el escenario Tendencial o BAU (por sus siglas en inglés, Business As Usual) se asume que no existen cambios significativos en la tecnología, economía o política en materia energética.

En la rama de la Demanda, se consideró que el sector Demanda de Electricidad evoluciona con una tasa de crecimiento lineal de acuerdo a la Tasa de Crecimiento del Producto Bruto Geográfico Promedio (GGP) de Mendoza de los últimos quince años (2004-2018), medida en pesos argentinos constantes del año 1993, lo que representa un valor del 1,51% (DEIE, 2018).

Luego, en el sector Transporte de Pasajeros, y en particular en el subsector Vehículos Particulares, la proyección de la flota de autos y vehículos livianos (Automóviles Particulares en su conjunto) al 2050 se estimó a partir de la tasa de motorización (Jimmy Ferrer Carbonell y CEPAL, 2018) esperada para la flota de Vehículos Particulares de Mendoza, que es función de la tasa de crecimiento promedio del producto interno bruto per cápita (PIB per cápita) del año 1990 al 2018 de Argentina (CEPAL, 2018) y de la proyección poblacional de Mendoza (DEIE, 2018) (Tabla 5).

En cuanto a los vehículos pesados (camiones, buses de media y larga distancia y buses públicos), la evolución de la flota se estimó en función de la tasa de crecimiento del PIB promedio de Argentina (CEPAL, 2018). De allí, se asumió que el subsector de Autobuses Públicos mantendrá una participación constante del 11% del total de la flota de vehículos pesados, demostrando el valor de los 3.710 Vehículos antes mencionados para el año 2018. La demanda anual de combustibles del sector Transporte de Pasajeros se calculó con información de AFAC (2018), ajustada por la distribución de la flota de vehículos presentada por ADEFA (2018) y proyectada por la evolución de las ventas de vehículos según ACARA (2020) y DNRPA (2018).

Por su parte, la oferta tendencial de energía eléctrica del parque de generación actual se supuso sin cambios en la potencia instalada y en la energía generada. Sin embargo, en cuanto a la energía generada por instalaciones de generación distribuida, este escenario incorpora los resultados de la aplicación de la Resolución de Generación de Electricidad Distribuida de Mendoza, promulgada en 2015 por el Ente Provincial Regulador Eléctrico (EPRE) y su evolución hasta el 2019 (Benito y Arena, 2019). Los valores de energía generada por los sistemas fotovoltaicos instalados para cada uno de los años del intervalo mencionado, se simuló mediante la herramienta *System Advisor Model (SAM)*, Versión 2020.11.29 (SAM 2020.11.29), contemplando los equipos instalados con mayor frecuencia de todas las instalaciones operativas en Mendoza, utilizando la base de datos meteorológicos *Meteonorm*, Version 7 (Remund et al., 2015). Para los años subsiguientes, se propuso una curva de penetración de instalaciones de generación distribuida con tecnología FV que persigue una función

logística, la cual es una función exponencial de crecimiento limitado o amortiguado (Ecuación 1). Los valores que toman las variables y parámetros para la oferta por generación distribuida en este escenario se resumen en la Tabla 1.

$$N_{GD}(t) = \frac{M_{GD(t=2050)}}{\left(\frac{M_{GD(t=2050)} - N_{GD(t=0)}}{N_{GD(t=0)}}\right) \cdot e^{-ct} + 1} \quad (1)$$

Donde:

N_{GD} : Energía generada por sistemas de generación distribuida

M_{GD} : Cantidad máxima de energía generada por sistemas de generación distribuida incorporable al sistema energético de Mendoza en el año 2050

c : Constante de crecimiento de la función logística

t : periodo de tiempo considerado en años

b. Escenarios de Generación Distribuida. Baja Penetración (GDL) y Alta Penetración (GDU): En estos escenarios se contemplaron variaciones sólo en la rama de la oferta de energía eléctrica, mientras que la caracterización de la demanda se hereda del escenario BAU. Así, en el escenario de baja penetración (GDL) se considera lo propuesto por la Secretaría de Energía de la Nación (2019), donde se espera que, para el año 2030 y en lo sucesivo, la generación distribuida de fuentes renovables tome una tasa de penetración baja, equivalente al 10% de la demanda de energía eléctrica en el 2050. Análogamente al escenario BAU, la forma de crecimiento limitado está dado por la función logística (Ecuación 1), que toma los valores consignados en la Tabla 1.

Por su parte, el escenario de alta penetración (GDU) fue diseñado para contemplar una tasa mayor de penetración de generación de distribuida fotovoltaica, alcanzando un 30% de la demanda de energía eléctrica en el 2050. Se consideró la forma de penetración mencionada para el escenario GDL y los valores se aprecian en la Tabla 1.

c. Escenarios referidos a Vehículos Eléctricos conectados a Red (V2G). Consideraciones Generales: Se diseñaron dos escenarios referido a EV conectados a la red (V2G): V2GL (Baja Tasa de Penetración) y V2GU (Alta Tasa de Penetración), que comparten algunas precisiones. En un primer lugar, los dos escenarios actúan sobre el subsector Vehículos Privados, considerando una sustitución de los vehículos de combustión interna con tecnología a nafta por EV con tecnología de baterías Li-ion (iones de litio) (BEV, del inglés Battery Electric Vehicle) (Sanguesa et al., 2021). La función de sustitución para todos los escenarios plantea que la cantidad final de autos a nafta para un año en particular está dada por la diferencia entre la cantidad de vehículos a nafta del escenario BAU (ADEFSA, 2018; DNRPA, 2020) y la cantidad de EV penetrados para el mismo año bajo análisis.

En cuanto a la cantidad de EV penetrados cada año, se consideró la función logística dada por la Ecuación 1, pero donde las variables y los parámetros toman las siguientes acepciones: N_{EV} : Cantidad de Vehículos Eléctricos ingresados al Sistema Energético de Mendoza; M_{EV} : Cantidad Máxima de Vehículos Eléctricos incorporables al parque automotor de Mendoza en el año 2050; c : Constante de crecimiento de la función logística; t : periodo de tiempo considerado en años. Se consideró que el primer año que ingresarán vehículos eléctricos en el sistema energético de Mendoza, en una arquitectura V2G, será en el año 2022. Luego, la cantidad máxima de vehículos al año 2050 para cada escenario de baja y alta penetración se estimó a partir de las proyecciones de la Secretaría de Energía de la Nación (2019). Estas consideran que, para la situación de baja penetración, los EV tomarán el 0,5% de participación de ventas anuales (patentamientos) de vehículos (automóviles y livianos) del parque automotor y, para la situación de alta penetración, los EV tendrán el 30% de participación (Tabla 2).

Variables y Parámetros	Nomenclatura	Unidades	Escenarios con Penetración de Generación Distribuida Fotovoltaica		
			BAU ¹	GDL ²	GDU ³
			Energía Generada Total - Parque Generación - MZA 2018	E_{GenTot_2018}	[MWh]
Demanda de Energía Eléctrica - MZA 2018	D_{EE_2018}	[MWh]		5.927.452	
Energía Generada por Generación Distribuida (GD) - MZA 2018	E_{GDFV_2018}	[MWh]		578,52	
Potencia Instalada en Corriente Continua Instalada en Generación Distribuida (GD) - MZA 2018	$P_{DC_GDFV_2018}$	[kWp] [MWp]		438,06 0,438	
Relación CC/CA Promedio Instalaciones en Operación	$R_{DC/AC}$	[adim]		1,2	
Potencia Instalada en Corriente Alterna Instalada en Generación Distribuida - MZA 2018	$P_{AC_GDFV_2018}$	[kW] [MW]		365,05 0,365	
Tasa de Participación de la GD a la Energía Generada Total - MZA 2018	i_{GD/E_GEN_2018}	[%]		0,012%	
Tasa de Participación de la GD a la Demanda de Energía Eléctrica - MZA 2018	i_{GD/D_EE_2018}	[%]		0,010%	
Tasa de Participación de la GD a la Demanda de Energía Eléctrica - MZA 2050 (límite de crecimiento)	i_{GD/D_EE_2050}	[%]	0,010%	10,0%	30,0%
Cantidad Máxima de Energía por GD incorporable al Sistema - MZA 2050	M_{GD_2050}	[MWh]	933,43	956.388,78	2.869.166,35
Periodo Inicial Considerado (t=0 ==> Año 2018)	t=0	[Años]	0	0	0
Periodo Incremental Considerado (t=1 ==> Año 2019)	t=1	[Años]	1	1	1
Energía Generada GD Total MZA para (t=0) ==> Año=2018	$N_{GD_ (t=0)}$	[MWh]	578,52	578,52	578,52
Energía Generada GD Total MZA para (t=1) ==> Año=2019	$N_{GD_ (t=1)}$	[MWh]	654,76	1.272,74	1.316,13
Constante c Función Logística	c	[adim]	0,20	0,50	0,60

¹ BAU: Escenario Tendencial (Business As Usual)
² GDL: Escenario Generación Distribuida de Baja Penetración
³ GDU: Escenario Generación Distribuida de Alta Penetración

Tabla 1: Valores de las variables y parámetros de la función logística para los escenarios con oferta de energía eléctrica por Generación Distribuida con tecnología Fotovoltaica. Elaboración propia.

Variables y Parámetros	Nomenclatura	Unidades	Escenarios con Penetración de Vehículos Eléctricos Conectados a Red	
			V2GL ¹	V2GU ²
			Tasa de Motorización - MZA 2018	t_{MOT_2018}
Tasa de Motorización - MZA 2050	t_{MOT_2050}	[Vehículos/1.000 hab.]	595	
Cantidad Automóviles + Livianos Total - MZA 2018	Q_{Autos_Total}	[Vehículos]	670.609	
Cantidad Automóviles + Livianos a Nafta - MZA 2018	Q_{Autos_Nafta}	[Vehículos]	429.190	
Cantidad Automóviles + Livianos a Diésel - MZA 2018	$Q_{Autos_Diésel}$	[Vehículos]	241.419	
Tasa de Participación en las Ventas de EV - MZA 2050	i_{EV_2050}	[%]	0,50%	30,00%
Patentamientos Anuales - MZA 2050	Q_{pat_EV}	[Vehículos]	19.161	
Cantidad Máxima de EV ³ incorporables al parque automotor - MZA 2050	M_{EV_2050}	[Vehículos]	95	5.748
Periodo Inicial Considerado (t=0 ==> Año 2022)	t=0	[Años]	0	
Periodo Incremental Considerado (t=1 ==> Año 2023)	t=1	[Años]	1	
Cantidad de EV para (t=0 ==> Año=2022)	$N_{GD_ (t=0)}$	[Vehículos]	59	
Cantidad de EV para (t=1 ==> Año=2023)	$N_{GD_ (t=1)}$	[Vehículos]	63	89
Constante c Función Logística	c	[adim]	0,17	0,42

¹ V2GL: Escenario Vehículos Eléctricos conectados a Red de Baja Penetración
² V2GU: Escenario Vehículos Eléctricos conectados a Red de Alta Penetración
³ EV: Vehículo Eléctrico (Electric Vehicle)

Tabla 2: Valores de las variables y parámetros que toma la función logística para los escenarios con participación de oferta de energía por Vehículos Eléctricos conectados a la Red (arquitectura V2G). Elaboración propia.

El vehículo eléctrico *típico* considerado en el modelo LEAP de Mendoza se obtuvo a partir de Electric Vehicle Database (2020), cuyas características, considerando los segmentos de clasificación de los EV del mercado europeo y de Estados Unidos y teniendo en cuenta la capacidad de compra de Mendoza (Gudiño et al., 2013), resultan en: Velocidad Máxima: 152,38 km/h; Rango Eléctrico: 274,2 km; Potencia Total: 119,16 kW; Capacidad de la Batería: 51,242 kWh; Capacidad Utilizable de la Batería: 47,53 kWh; Potencia de Carga: 9,52 kWac; Tiempo de Carga: 6,96 h; Energía Consumida en la Carga: 59,48 kWac-h; Velocidad de Carga: 47,18 km/h; Consumo Ciudad - Clima Templado: 116,02 Wh/km; Consumo Autopista - Clima Frío: 243 Wh/km; Promedio Consumo Real: 179,51 Wh/km

Análisis de impactos potenciales sobre el cambio climático: Para estudiar el efecto de la sustitución de vehículos a nafta por EV, se cuantificaron las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) producidas por la combustión de nafta y por la generación de energía eléctrica para abastecer la demanda anual de energía de cada tipo de vehículo, según el Inventario de Gases de Efecto

Invernadero de la República Argentina, Años 2010 y 2012 (Moreira, 2019). Posteriormente, se calculó el impacto potencial sobre el cambio climático originado por estas emisiones considerando los factores de caracterización (Potencial de Calentamiento Global a 100 años) publicados el por Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Myhre et al., 2013). Los resultados se expresan en kg CO₂ eq. Se consideró la diferencia de impacto por la sustitución de un vehículo a nafta por un EV y la incidencia de la introducción de EV sobre el parque automotor total, según cada escenario de penetración.

RESULTADOS

Resultados del modelado de la oferta de energía eléctrica en Mendoza: La proyección de la oferta de energía eléctrica proveniente de instalaciones fotovoltaicas en generación distribuida con conexión a la red para la provincia de Mendoza se presenta en la Fig. 2. En el escenario tendencial (BAU), la energía aportada por GD es poco apreciable. Por el contrario, los escenarios GDL y GDU muestran un incremento relativo entre sí del 200,05%, con una potencia instalada acumulada al 2050 de 10,67 GW y de 33,16 GW, respectivamente. Por otra parte, la Fig. 3 enseña la contribución por tecnología a la generación de electricidad, contemplando la inyección de energía por generación distribuida (con tecnología fotovoltaica) y a partir de los EV incorporados al sistema en una arquitectura V2G, para los escenarios de baja y alta penetración. Para los dos escenarios se observa que la generación hidráulica no renovable (centrales mayores a 50 MW) y la generación térmica (en particular por ciclos combinados) son de gran relevancia para el sistema mendocino. Sin embargo, en el escenario de alta penetración de GD y V2G (sección inferior de la Fig. 3) se percibe que el vuelco de energía a la red proveniente de instalaciones FV distribuidas tiene la misma magnitud que la energía generada por los ciclos combinados (manteniéndose estos en situación BAU). Por el contrario, se aprecia que la contribución de la energía volcada a la red desde los EV (sin contemplar distintas alternativas posibles de carga y descarga diaria de los EVs) no cobra significancia en ninguno de los escenarios, en relación a las otras tecnologías y a la demanda de energía eléctrica agregada de la provincia, contemplando la demanda que conllevará la carga propia de las baterías de los EV.

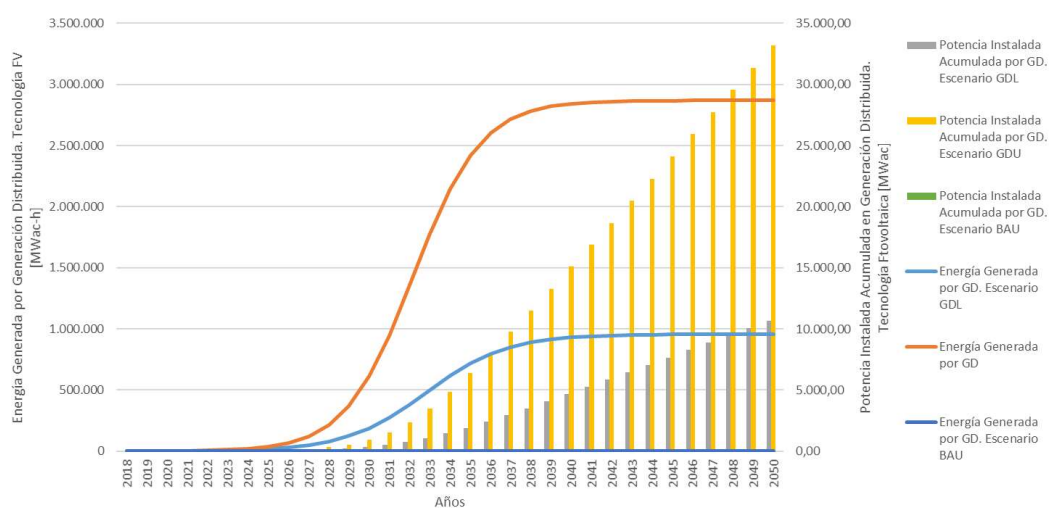


Figura 2: Oferta de energía eléctrica por penetración de instalaciones de generación distribuida con tecnología fotovoltaica con conexión a la red, escenarios GDL y GDU (gráfico de líneas, eje izquierdo) y su potencia instalada acumulada (gráficos de barras, eje derecho). Elaboración propia.

Resultados del modelado de la demanda de energía eléctrica en Mendoza: Apreciando la Fig. 4., se evidencia que la demanda de electricidad desde la red de los vehículos eléctricos incorporados de forma acumulada desde el 2022 al 2050 representaría el 0,37% de la demanda agregada de electricidad en el 2050 para el escenario de V2GL, y el 13,12% para el escenario V2GU. Vale la pena aclarar que la demanda agregada de electricidad para los escenarios GDL, GDU, V2GL, V2GU y sus combinaciones toma los valores proyectados para el escenario BAU.

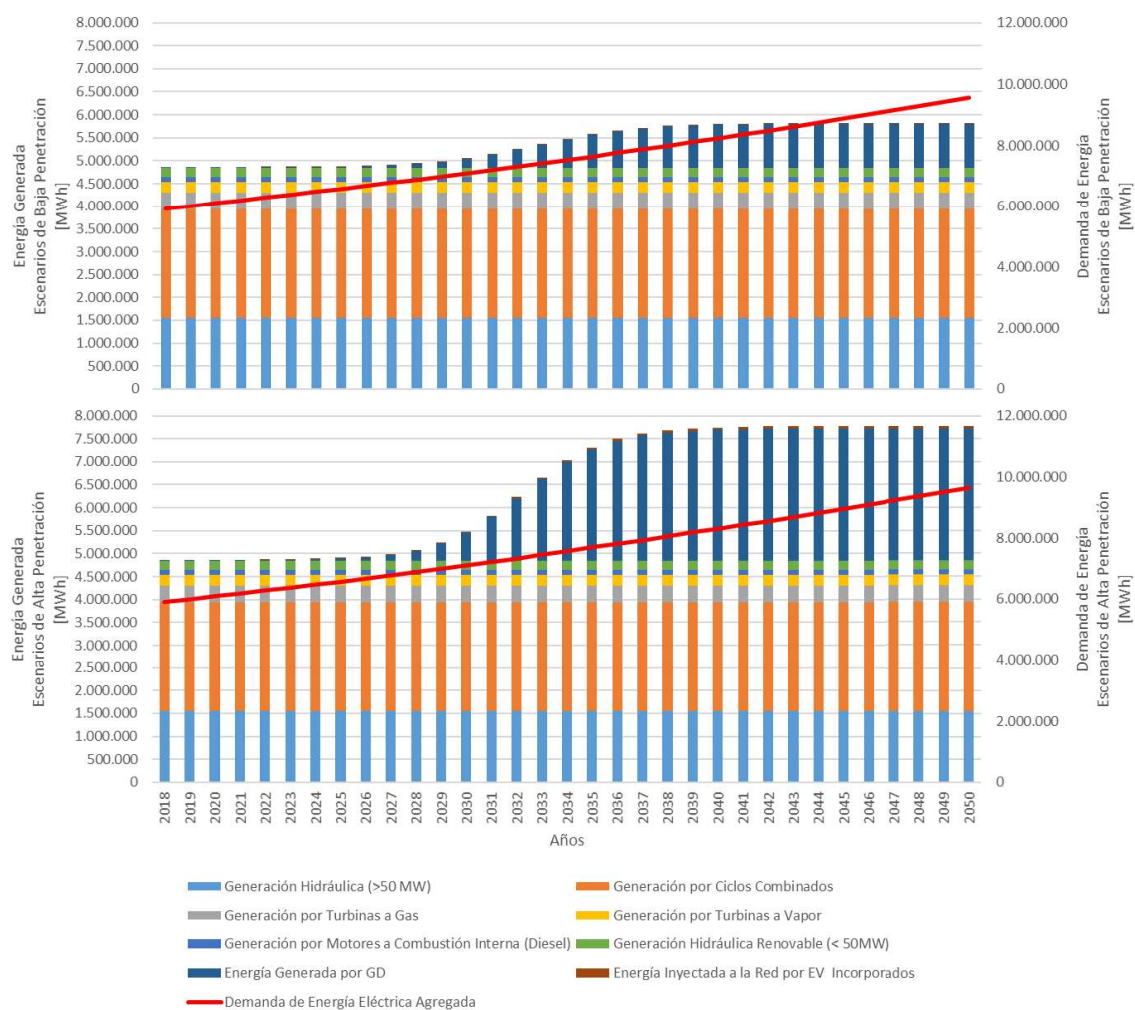


Figura 3: Contribución por tecnología a la generación de energía eléctrica de la matriz de Mendoza (eje izquierdo) y demanda de energía eléctrica agregada (eje derecho). Escenarios de baja penetración (sección superior) y escenarios de alta penetración (sección inferior). Elaboración propia.

Finalmente, en relación a la oferta y demanda de energía eléctrica prospectada para el sistema energético de Mendoza a partir de los EV incorporados, la Fig. 5 muestra que la demanda de electricidad, para ambas tasas de penetración, será mayor que la electricidad inyectada a la red por estos. Por lo tanto, este resultado enfatiza que el uso de los EV deberá ser, además, fomentado y valorizado monetariamente, utilizando sus características auxiliares como un elemento distribuido de almacenamiento de energía, para ayudar a la operación y seguridad de red eléctrica de distribución a la que se conectan para su carga y descarga.

Resultados del impacto potencial sobre el cambio climático: Por último, se analizó el impacto potencial sobre el cambio climático asociado las emisiones de GEI en los escenarios V2GL y V2GU (Fig. 6). Al considerar el reemplazo de vehículos de combustión interna por EV, se consigue un ahorro de emisiones GEI, que se traduce en un impacto evitado de aproximadamente 14% por cada vehículo reemplazado en los dos escenarios. Dicha disminución del impacto es baja como consecuencia de la alta participación que tienen las fuentes de energía fósiles en la matriz eléctrica, donde se cargan las baterías de los EV. Adicionalmente, al analizar la importancia de esta reducción del impacto en el parque automotor total, se observa que, para el escenario de baja penetración, la disminución representa un valor mediano del 0,081% para el período analizado (2018 a 2050), mientras que, para el escenario de alta penetración, este valor asciende a 4,28%.

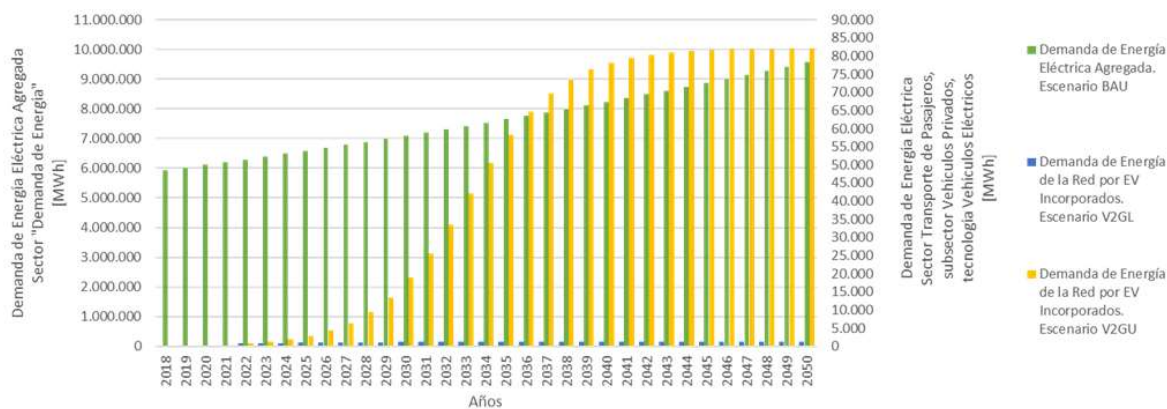


Figura 4: Demanda de energía eléctrica agregada (eje izquierdo) y demanda de energía eléctrica por penetración de vehículos eléctricos (escenarios V2GL y V2GU) (eje derecho). Elaboración propia.



Figura 5: Demanda e Inyección de energía eléctrica a la red de distribución por los vehículos eléctricos incorporados al sistema energético de Mendoza. Escenario de baja penetración (V2GL) (eje izquierdo), escenario de alta penetración (V2GU) (eje derecho). Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Los resultados presentados en este trabajo brindan información sobre la influencia de la introducción de vehículos eléctricos y sistema fotovoltaicos de generación distribuida en el sistema energético de Mendoza. La consideración de varios escenarios permite obtener proyecciones que contemplan diferentes tendencias de evolución y que demuestran la utilidad del análisis desarrollado para la toma de decisiones y la implementación de políticas. En este sentido, cualquier estrategia que se aplique conlleva decisiones técnico-económicas en los sistemas de distribución de media y baja tensión, cuyos efectos deben ser estudiados para incorporar soluciones a largo plazo y que permitan la continua integración de generación distribuida en base a fuentes renovables de energía.

En este trabajo se evidencia que la incorporación de sistemas fotovoltaicos de generación distribuida con baja penetración no supondría un cambio notorio en la configuración de la matriz de generación eléctrica provincial. No obstante, al considerar alta penetración de esta tecnología, el aporte de energía a la red se equipararía al generado por los ciclos combinados. Por su parte, la adición de energía a la red desde los EV no sería de significancia en ninguno de los escenarios analizados. Además, la incorporación de EV impulsaría la necesidad de tomar medidas en los sectores de mayor consumo con el fin de satisfacer la demanda de energía eléctrica para la carga de los EV.

Por otro lado, para asegurar el aumento sostenido del uso de estas tecnologías, es importante expandir las soluciones aplicables a las condiciones de operatividad y seguridad energética de las redes eléctricas de distribución. En este punto, se destaca la incorporación de tecnologías inteligentes que permitan la reducción de los posibles impactos técnicos de una gran penetración de instalaciones de generación distribuida y de vehículos eléctricos en arquitectura V2G, de manera de ampliar el límite técnico de penetración máxima, mediante técnicas como el control de demanda, control de factor de potencia en inversores, entre otros.

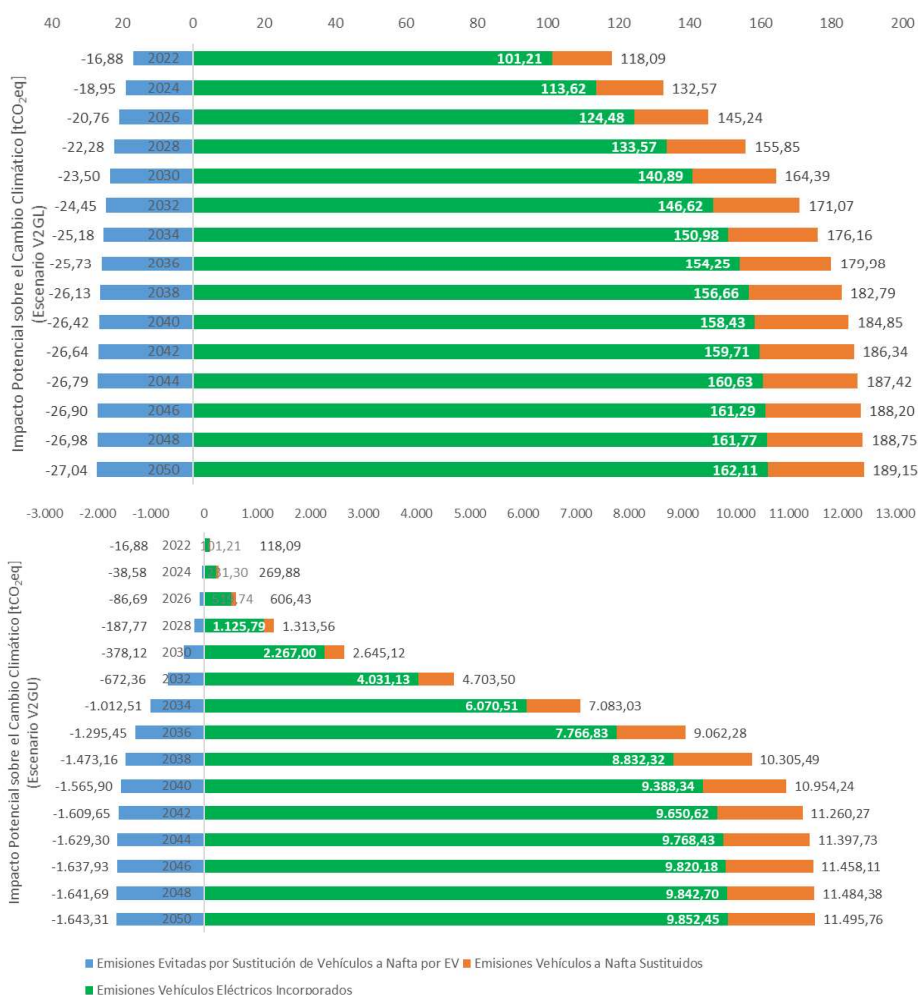


Figura 6: Impacto potencial sobre el cambio climático asociado las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de vehículos a nafta, vehículos eléctricos y emisiones evitadas por sustitución de vehículos nafteros por eléctricos. Escenario de baja penetración (sección superior) y escenario de alta penetración (sección inferior). Paso bianual. Elaboración propia.

En relación a la sustitución de vehículos de combustión interna por vehículos eléctricos como una medida tendiente a la reducción de emisiones de GEI, se constata que la aplicación efectiva de medidas de mitigación requiere una transformación de la matriz eléctrica, con incorporación de energía de fuentes renovables, en lugar de promoverse disposiciones puramente cuantitativas, como podría ser una tasa de penetración de EV más agresiva.

Por último, se subrayan aspectos que no han sido presentados en este trabajo y que dan lugar a futuras investigaciones. En primer lugar, se reconoce la importancia de incluir otros parámetros que podrían influir en los resultados del modelo, entre los que se destacan: i) los patrones de manejo de los usuarios; ii) la difusión del mercado de EV a nivel nacional y provincial (impulsado o postergado); iii) los modos de carga y descarga (inyección) de energía eléctrica hacia y desde los EV; iv) el

dimensionamiento de la capacidad de las baterías en relación con los patrones y preferencias de manejo de los usuarios particulares de EV; y v) la voluntad de los usuarios particulares en participar activamente en esquemas de vuelco de energía a la red desde sus vehículos (V2G).

Asimismo, es preciso realizar un análisis comparativo sobre la viabilidad de la funcionalidad V2G al considerar de forma individual cada vehículo o la conjunción de toda la población de estos como una única fuente distribuida de almacenamiento de energía. Este aspecto es de importancia, puesto que, en la modalidad individual, podría limitarse la aplicabilidad del V2G dada la baja capacidad de almacenamiento y la dispersión espacial que puede presentar cada vehículo, mientras que, en la modalidad grupal, podrían agruparse distintas cantidades de vehículos eléctricos en función del esquema y objetivo de control que requiera la red para su propia regulación y estabilidad.

Finalmente, es necesario desarrollar estrategias que incentiven a los propietarios de EV a participar en un sistema V2G, considerando una compensación por la degradación de las baterías, ya que, al implementar una arquitectura de carga inteligente que contemple el V2G, es esperable que aumente la tasa de degradación de las baterías debido a la mayor frecuencia de los ciclos de carga-descarga.

REFERENCIAS

- Asociación de Concesionarios de Automotores de la República Argentina – ACARA. (2020). Reporte mensual de patentamientos. Autos. Julio 2020. Sistema de Información Online del Mercado Automotor (SIOMAA).
- Asociación de Fabricantes de Automotores (ADEFA). (2018). Reporte Anual 2018. Parque Automotor de la República Argentina.
- Asociación de Fábricas Argentinas de Componentes - AFAC. (2019). Flota Vehicular Circulante en Argentina.
- Benito, A. y Arena, P. (2019). Generación y almacenamiento distribuidos de energía eléctrica como herramientas de flexibilidad para el sistema energético de la provincia de Mendoza: análisis basado en el modelo LEAP. XLII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 7, pp. 05.71-05.82.
- Bessa, R. J., & Matos, M. A. (2012). Economic and technical management of an aggregation agent for electric vehicles: a literature survey. *European transactions on electrical power*, 22(3), 334-350.
- Boletines Estadísticos. Estadística Anual de Inscripciones Iniciales Nacionales e Importadas por Provincia. Dirección Nacional de Registro del Automotor y Créditos Prendarios (DNRPA).
- Bull, A., & CEPAL, N. (2003). Congestión de tránsito: el problema y cómo enfrentarlo. CEPAL.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe - CEPAL. (2018). Cuentas nacionales anuales en dólares. Tasa de crecimiento del producto interno bruto (PIB) total anual por habitante a precios constantes. Bases de Datos y Publicaciones Estadísticas: CEPALSTAT.
- Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico S.A. (CAMMESA). (2018). Datos Síntesis Mensuales, BASE_INFORME_MENSUAL_2018-12.
- Dirección de Estadísticas e Investigaciones Económicas (DEIE), Ministerio de Economía, Infraestructura y Energía, Gobierno de Mendoza. (2018). Mendoza en Datos, Datos Económicos: i) Producto Bruto Geográfico. Mendoza. Años 2004-2017; ii) Población estimada al 1º de julio de cada año calendario por sexo (ambos sexos), según departamento. Mendoza. Años 2010-2025.
- Dirección Nacional de Escenarios y Planeamiento Energético de la Subsecretaría de Planeamiento Energético, perteneciente a la Secretaría de Energía de la Nación. (2019). Escenarios Energéticos 2030. Documento de Síntesis.
- Ehsani, M., Falahi, M., & Lotfifard, S. (2012). Vehicle to grid services: Potential and applications. *Energies*, 5(10), 4076-4090.
- Electric Vehicle Database. (2020). Dirección URL: <<https://ev-database.org/>> [consulta: 7 de agosto de 2021].
- Ente Provincial Regulador Eléctrico de Mendoza (EPRE). (2019).
- Gudiño, M., Ghilardi, M. y Dalla Torre, J. (2013). "MENDOZA. Mapa social mediante puntaje z y análisis

- multivariado". En Buzai, G., *Mapas Sociales Urbanos. II Edición*. Buenos Aires: Editorial Lugar. ISBN 950-892-157-9.
- Guille, C., & Gross, G. (2009). A conceptual framework for the vehicle-to-grid (V2G) implementation. *Energy policy*, 37(11), 4379-4390.
- Heaps, C.G. (2021). LEAP: The Low Emissions Analysis Platform. [Software version: 2020.1.40] Stockholm Environment Institute. Somerville, MA, USA. <https://leap.sei.org>
- International Energy Agency - IEA. (2019). *Global EV Outlook 2019. Scaling-up the transition to electric mobility*.
- Jimmy Ferrer Carbonell y División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos, CEPAL. (2018). *Movilidad Urbana, Cambio Climático y Salud en América Latina y El Caribe, II Conferencia de las Ciudades Hacia Una Movilidad Segura, Asequible y Sostenible en ALC*.
- McPherson, M., & Karney, B. (2014). Long-term scenario alternatives and their implications: LEAP model application of Panama's electricity sector. *Energy Policy*, 68, 146-157.
- Moreira, M. M., Gaioli, F., Galbusera, S. (2019). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero: Argentina-2019. 1ra Ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación*.
- Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestedt, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang, 2013: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Remund, J., Müller, S., & Kunz, S. (2015). *Meteonorm. Global meteorological database. Version 7*.
- Richardson, D. B. (2013). Electric vehicles and the electric grid: A review of modeling approaches, Impacts, and renewable energy integration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 247-254.
- Sanguesa, J. A., Torres-Sanz, V., Garrido, P., Martínez, F. J., & Marquez-Barja, J. M. (2021). A Review on Electric Vehicles: Technologies and Challenges. *Smart Cities*, 4(1), 372-404.
- Shaaban, M. F., Atwa, Y. M., & El-Saadany, E. F. (2012). PEVs modeling and impacts mitigation in distribution networks. *IEEE Transactions on Power Systems*, 28(2), 1122-1131.
- Shafie-Khah, M., Neyestani, N., Damavandi, M. Y., Gil, F. A. S., & Catalão, J. P. S. (2016). Economic and technical aspects of plug-in electric vehicles in electricity markets. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1168-1177.
- Tulpule, P. J., Marano, V., Yurkovich, S., & Rizzoni, G. (2013). Economic and environmental impacts of a PV powered workplace parking garage charging station. *Applied Energy*, 108, 323-332.

ABSTRACT: This paper presents tools for the energy sector's opportunities and threats assessment for an evidence-based decision-making procedure. Through the exercise of proposing scenarios as possible long-term paths and not as predictions, its primary goal was to present the LEAP (Low Emissions Analysis Program) prospective modelling progresses of electric vehicles (EV) and photovoltaic on-grid distributed generation systems integration among regional energy systems such as Mendoza's. The results show that a high penetration rate of such photovoltaic systems would entail a striking change in the regional electricity matrix configuration. On the other hand, it is exposed that EV's electricity demand will be greater than the injected into the utility grid by them under a Vehicle to Grid (V2G) configuration, so it is required to evaluate additional strategies that promote their use. Likewise, it is proved that the replacing internal combustion vehicles with electric vehicles as a measure aimed to reduce greenhouse gas emissions would not serve as such, acting solely from a major electrical matrix transformation policy that includes renewable energy sources.

KEYWORDS: Energy prospective. Vehicle To Grid. Climate Change. Photovoltaic technology