

# Hacia la Transición Energética de Mendoza mediante la Integración de Vehículos Eléctricos y Sistemas de Generación Distribuida: Modelo LEAP

## Towards Mendoza's Energy Transition through Electric Vehicles and Distributed Generation Systems Integration: LEAP Model

Presentación: 4 y 5 de Octubre de 2022

### Doctorando:

**Andrés Osvaldo Benito**

Grupo CLIOPE, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional - Argentina  
aobenito31@gmail.com

### Director:

**Alejandro Pablo Arena**

### 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.

Palabras clave: energía, prospectiva, generación distribuida, almacenamiento de energía, tecnología fotovoltaica.

### 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.

Keywords: energy prospective, vehicle to grid, climate change, photovoltaic technology.

## 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 (CMMESA, 2018; EPRE, 2019).

Por otra parte, 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) (Secretaría de Energía de la Nación, 2019).

Asimismo, 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).

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. 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.

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.

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. Para conducir el análisis, se diseñó una serie de escenarios considerando proyecciones de largo plazo. 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.

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. Por tanto, para la rama de la Demanda, se consideró que el sector Demanda de Electricidad evoluciona con una tasa de crecimiento lineal de acuerdo con la Tasa de Crecimiento del Producto Bruto Geográfico Promedio (GGP) de Mendoza de los últimos quince años (2004-2018), 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). 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). Para los años subsiguientes, se propuso, para dichas instalaciones, una curva de penetración que persigue una función logística, la cual es una función exponencial de crecimiento limitado o amortiguado.

Para los escenarios de Generación Distribuida, tanto de Baja Penetración (GDL), como de Alta Penetración (GDU), se contemplaron variaciones sólo en la rama de la oferta de energía eléctrica, mientras que en el escenario GDL se considera lo propuesto por la Secretaría de Energía de la Nación (2019). Por su parte, el escenario 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.

En cuanto a los escenarios referidos a Vehículos Eléctricos conectados a Red (V2G), se diseñaron dos escenarios referidos 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). En cuanto a la cantidad de EV penetrados cada año también se consideró la función logística.

Por su parte, el vehículo eléctrico típico considerado en el modelo LEAP de Mendoza se obtuvo a partir de Electric Vehicle Database (2020), cuyas características resultan de considerar 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).

## Resultados

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. 1. 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.

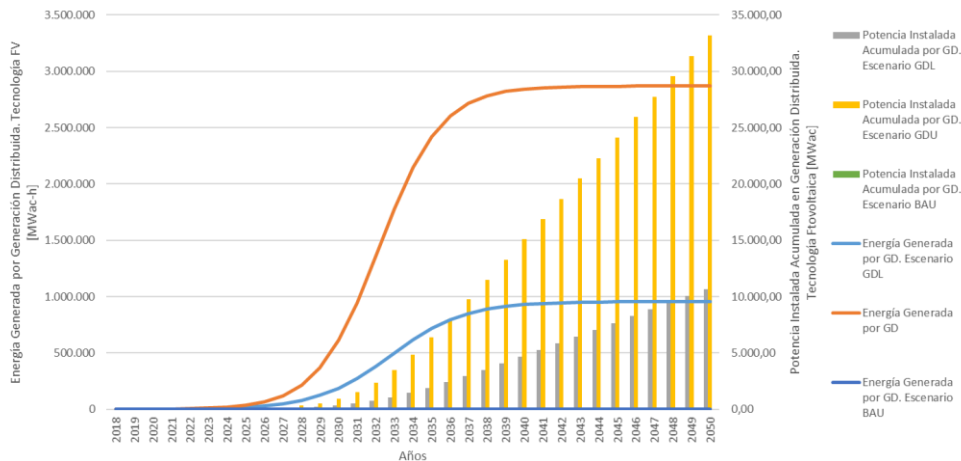


Figura 1: Oferta de energía eléctrica por penetración de instalaciones de generación distribuida con tecnología fotovoltaica con conexión a la red, escenarios GDL y GDU (gráfico de líneas, eje izquierdo) y su potencia instalada acumulada (gráficos de barras, eje derecho). Elaboración propia.

Por otra parte, la Fig. 2 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.

Por otra parte, apreciando la Fig. 3., 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. Finalmente, en relación con la oferta y demanda de energía eléctrica prospectada para el sistema energético de Mendoza a partir de los EV incorporados, la Fig. 4 muestra que la demanda de electricidad, para ambas tasas de penetración, será mayor que la electricidad inyectada a la red por estos.

## 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. 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.

Finalmente, 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.

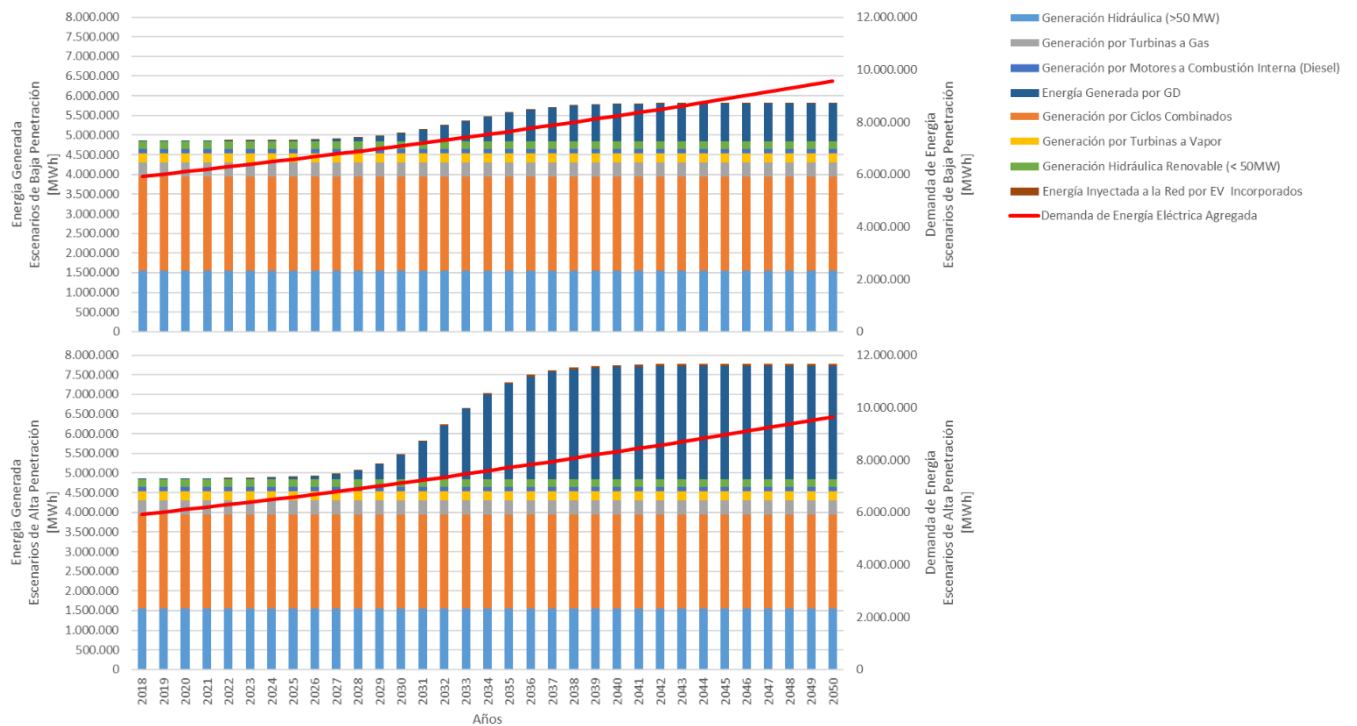


Figura 2: Contribución por tecnología a la generación de energía eléctrica de la matriz de Mendoza (eje izquierdo) y demanda de energía eléctrica agregada (eje derecho). Escenarios de baja penetración (sección superior) y escenarios de alta penetración (sección inferior). Elaboración propia.

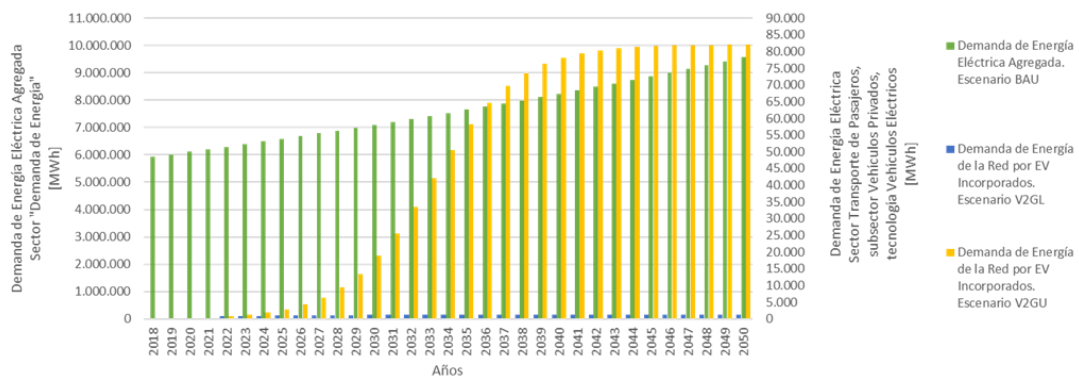


Figura 3: Demanda de energía eléctrica agregada (eje izquierdo) y demanda de energía eléctrica por penetración de vehículos eléctricos (escenarios V2GL y V2GU) (eje derecho). Elaboración propia.

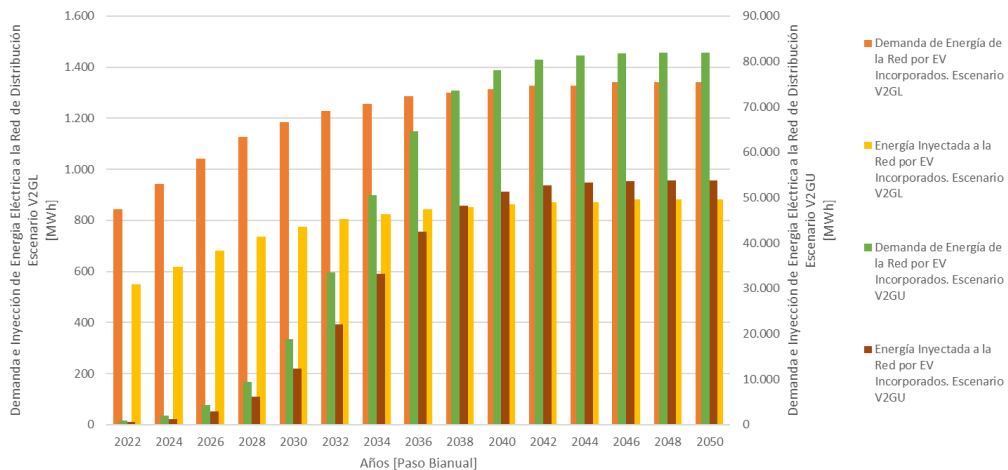


Figura 4: Demanda e Inyección de energía eléctrica a la red de distribución por los vehículos eléctricos incorporados al sistema energético de Mendoza. Escenario de baja penetración (V2GL) (eje izquierdo), escenario de alta penetración (V2GU) (eje derecho). Elaboración propia.

## 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.
- 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 1° 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.
- 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.
- 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.