

SIMULACIÓN REDUCIDA DE LA INSERCIÓN DE CENTRALES FOTOVOLTAICAS EN LA PROVINCIA DE MENDOZA MEDIANTE EL MODELO LEAP

Andrés Osvaldo Benito¹

¹Grupo CLIOPE: Energía, Ambiente y Desarrollo Sustentable – Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza – Rodríguez 273, Mendoza –C.P. 5500 – Tel. 0261-524-4693 – e-mail: andresbenito@frm.utn.edu.ar

Recibido 14/08/18, aceptado 21/09/18

RESUMEN: El ejercicio de prospección de escenarios utilizado en el sector energético, no tiene por objetivo hacer una previsión minuciosa del futuro ni generar respuestas detalladas a la problemática energética, sino que permite identificar aquellos aspectos críticos que afectan o que pueden condicionar la evolución energética de una región. Este trabajo evalúa, mediante la utilización del modelo Long-range Energy Alternatives Planning (LEAP) una simulación reducida proyectada al año 2040 de los sistemas socio-económico y energético de la provincia de Mendoza. Como consecuencia de los niveles de crecimiento de la demanda Residencial en primera instancia, seguida del crecimiento del PBG del sector Industrial, se ve necesaria una penetración aún mayor a la planificada en generación de energía eléctrica de origen solar fotovoltaica. Se resalta la reserva que debe tenerse al modelar a escala regional, ya que ciertos efectos socio-políticos y económicos nacionales o internacionales pueden quedar sesgados en la reducción escalar.

Palabras clave: energía solar, prospectiva energética, escenarios, producto bruto geográfico.

1. INTRODUCCION

A nivel mundial, estamos atravesando una profunda transformación energética donde predomina la incertidumbre y un acelerado proceso de innovación tecnológica. Hoy más que nunca se requiere implementar procesos de planificación energética permanente, donde se integren la mayor cantidad de variables y formulen prospecciones de escenarios posibles que sean revisados periódicamente, tendientes a alcanzar una mejor comprensión de las oportunidades y las barreras sociales y políticas que enfrenta el desarrollo de los sistemas energéticos.

Los modelos computacionales son herramientas desarrollados para analizar dichos sistemas energéticos, entendiéndolos como el conjunto de actividades mediante las cuales las distintas fuentes de energía se producen, transportan, transforman, distribuyen y consumen para satisfacer determinadas necesidades energéticas (iluminación, calor, fuerza motriz, etc.) de los sectores socio-económicos a los que están ligados dichos sistemas. En esta línea, diversos modelos han sido desarrollados con propósitos particulares (Gargiulo, M. y Gallachóir, B., 2013), así, algunos de ellos son adecuados para analizar sólo una porción del sistema y otros para analizar su totalidad (Suganthi, L. y Samuel, A., 2012); (Hirth, L., 2013); (Keirstead, J; Jennings, M. y Sivakumar, A., 2012); (Evans, J. & Hunt, L. C., 2009).

Otro aspecto relevante, es que el análisis prospectivo suele realizarse a nivel nacional, siendo ésta tarea desarrollada por el ente ministerial correspondiente. Por ende, este ejercicio raramente se lleva a cabo en niveles geográficos inferiores como las provincias o estados de un país, sino que éstas sólo se limitan a adherirse en mayor o menor medida a las políticas estatales del país del que forman parte. Como antecedentes dentro de Argentina se pueden mencionar las iniciativas de la Provincia de Entre Ríos (Tito Murgia et. al., 1980), de la Región Noreste (NEA) (Programa de Estudios Energéticos Regionales de Argentina, 1990) y de la Provincia de Mendoza (Matriz Energética Provincia de Mendoza, 2007).

Por lo tanto, los objetivos de este trabajo fueron por un lado realizar una primera aproximación al modelado del sistema energético de la provincia de Mendoza, utilizando el modelo Long-range Energy Alternatives Planning (LEAP); y por otro lado, se buscó conocer cuáles son las variaciones en términos de oferta de energía eléctrica con la paulatina inserción de nuevas centrales de generación eléctrica a partir de fuentes renovables de energía, en particular centrales fotovoltaicas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La búsqueda de un desarrollo energético sustentable es la razón de ser de la planificación energética, entendiéndose que el resultado de ésta es alcanzar un plan que tenga los beneficios necesarios para guiar las actividades y recursos de un sistema energético, especialmente durante tiempos de elevada incertidumbre. De este modo, la formulación del plan energético objetivo de dicha planificación requiere de un análisis prospectivo donde se modelen escenarios que contengan, dentro de límites racionalmente aceptables, la trayectoria futura del sistema y particularmente la evolución de los requerimientos de energía a nivel del consumo final, en caso que esta información de uso final de energía estuviese disponible.

Como se mencionó anteriormente, de modo genérico, los modelos de sistemas energéticos son las herramientas utilizadas para llevar adelante acciones de planificación energética. Particularmente, existe otra variedad de herramientas computacionales relacionadas, algunas dentro del grupo de modelos con fines prospectivos, que sirven para analizar la integración de las fuentes renovables de energía en los sistemas energéticos (D. Connolly et al., 2010), tal es el caso del modelo LEAP o modelo de Planificación de Alternativas Energéticas de Largo Plazo, según su traducción al español, el cual es probablemente el más conocido y utilizado con fines de planificación en los países en vías de desarrollo, por ejemplo (Perwez, U. et al, 2015); (Huang, Y., Bor, Y. J., & Peng, C. Y., 2011); (McPherson, M., & Karney, B., 2014); (Emodi, N. V, 2017); (Sadri, A. et al, 2014).

2.1. Construcción del Sistema Energético Reducido de la Provincia de Mendoza

2.1.1. Especificaciones del Año Base o Escenario de Referencia

Como Año Base se considera el año 2016, ya que al día de la fecha es el periodo que cuenta con la información correspondiente al sistema energético nacional, y en consecuencia la correspondiente a la provincia de Mendoza, totalmente procesada y publicada.

La caracterización del sector Demanda de energía eléctrica de la provincia de Mendoza se realizó con los datos oficiales procesados y publicados en el Informe Estadístico del Sector Eléctrico 2016, elaborado por el sector de Estadísticas de Energía Eléctrica de la Dirección Nacional de Regulación del Mercado Eléctrico Mayorista (DNRMEM) de la Subsecretaría de Energía Térmica, Transporte y Distribución de Energía Eléctrica, dependiente de la Secretaría de Energía Eléctrica del Ministerio de Energía y Minería de la Nación. En este particular es donde radica la justificación a la mención que es una “simulación reducida” la analizada en este trabajo, ya que, de momento, para todos los Sectores Socio-Económicos contemplados no se detallan los consumos de energía eléctrica desagregados por Usos de energía (Iluminación, Cocción, Calefacción, Calentamiento de Agua, Conservación de Alimentos, Climatización – Ventilación, etc.), sino que por el contrario el consumo de electricidad se presenta agrupado bajo una única Tecnología, “Electricidad”. Además, no se han modelado los consumos de otros tipos de combustibles (Gas Natural, Leña, etc.) y por lo tanto tampoco se han especificado otras tecnologías que los consuman.

La distribución en cantidad de usuarios por cada sector de la demanda, junto con la energía eléctrica facturada a cada uno y el peso relativo al total tanto en la cantidad de usuarios como en el consumo energético de cada uno, se presentan en la Tabla 1 a continuación, también puede observarse la Intensidad Energética consecuente.

Para el sector Transformación en esta simulación sólo se han analizado los procesos de generación de energía eléctrica reportadas en el Informe Estadístico del Sector Eléctrico 2016 antes mencionado, de esta manera la información puede mantenerse consistente entre los sectores de la demanda considerados. Así mismo, cabe mencionar que este informe obtiene los valores detallados de los reportes mensuales y/o anuales que emite la Compañía Administradora del Mercado Eléctrico Mayorista (CAMMESA), como así también las distintas empresas y cooperativas distribuidoras de energía eléctrica del territorio de la provincia de Mendoza.

Sector	Cantidad de Usuarios (Usr)		Energía Facturada a Usuario Final		Intensidad Energética
	Cantidad	Peso Relativo	Cantidad	Peso Relativo	
	[Un.]	[%]	[MWh]	[%]	MWh/Usr
Residencial	495,322	81.91	1,710,627.58	28.52	3.45
Doméstico Rural	21,535	3.56	89,777.30	1.50	4.17
Comercial	49,177	8.13	558,266.93	9.31	11.35
Industrial	9,997	1.65	2,689,360.85	44.83	269.02
Servicios Sanitarios	225	0.04	38,580.24	0.64	171.47
Alumbrado Público	598	0.10	199,775.03	3.33	334.07
Tracción Eléctrica	3	0.00050	5,283.05	0.09	1,761.02
Riego Agrícola	9,049	1.50	385,723.91	6.43	42.63
Oficial	5,263	0.87	175,294.74	2.92	33.31
Otros Conceptos	13,538	2.24	145,922.12	2.43	10.78
TOTAL	604,707	100.00	5,998,611.74	100.00	

Tabla 1: Caracterización de la Demanda de Energía Eléctrica de la Provincia de Mendoza

A continuación, en la Tabla 2 pueden observarse de cada Tecnología/Equipo de generación de energía eléctrica: la Potencia Instalada, la Generación de Energía Eléctrica, la Participación de cada Tecnología al total de la generación y el consumo de combustible de cada una.

Tecnología/Equipo		Potencia Instalada		Generación de Energía Eléctrica	Particip. al Total	Consumo de Combustibles	
Descripción	Abrev.	kW	MW	MWh	%	Cant.	Unid.
Ciclo Combinado	CC	379,300	379.30	2,051,781	37.99		
<i>Gas Natural</i>	GN					435,468.83	Dam 3
Diesel	DI	8,496	8.50	6,327	0.12		
<i>Gas Oil</i>	GO					1,445.94	m3
Hidráulica de Bombeo	HB	224,000	224.00	223,251	4.13		
Hidráulica	HI	629,190	629.19	2,059,560	38.14		
Turbo Gas	TG	68,400	68.40	354,462	6.56		
<i>Gas Natural</i>	GN					60,496.30	Dam 3
Turbo Vapor	TV	120,000	120.00	704,817	13.05		
<i>Gas Natural</i>	GN				18.83	144,037.95	Dam 3
<i>Fuel Oil</i>	FO				81.17	161,594.04	Ton

Tabla 2: Datos Generación de Energía Eléctrica. Provincia de Mendoza

Luego para poder modelar el Despacho de Carga ocurrido en el Año Base (2016) se utilizó la Curva de Carga de la región Cuyo reportada por CAMMESA. La misma se construye a través de la energía consumida por el sistema en cada hora del año. Reorganizando la misma información es posible construir la Curva de Duración de Carga.

2.1.2. Especificaciones del Escenario Tendencial

En este escenario llamado Tendencial, o BAU por su sigla en inglés referente a Business As Usual, la modelación del sector Residencial escenario se basó en la información reportada por la Dirección de Estadísticas e Investigaciones Económicas (DEIE) de la provincia de Mendoza, la cual se a su vez se sirve de información del Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina (INDEC). Mediante los datos de Tamaño y Ritmo de Crecimiento de la Población Urbana, según Departamentos (Mendoza. Años 1970/1980/1991/2001/2010) - Dinámica de la Población en el Pasado, se consideró una Tasa de Crecimiento Promedio Ponderada Anual del 18,18% para este sector. Luego para el sector Doméstico Rural modelado se contempla una tasa de crecimiento anual del (-0,5%), es decir un decrecimiento de la población en situación de ruralidad. Para los sectores: Comercial, Industrial, Servicios Sanitarios, Alumbrado Público, Tracción Eléctrica, Riego Agrícola y Otros Conceptos se consideró una Tasa de Crecimiento Promedia Ponderada Anual del 5,19%. Esto se basó en los datos brindados por la DEIE, Área Indicadores de Coyuntura, en su apartado de Tasa de crecimiento del PBG¹ de Mendoza. Años 2003-2013. Para el sector Oficial se consideró una tasa de crecimiento anual del (-0,5%), es decir un decrecimiento de la infraestructura de los entes públicos, ya sea esto por medidas político-económicas de reducción del gasto público. Por otro lado, en este escenario no se implementaron nuevas estrategias de generación de energía eléctrica, sino que el sistema se mantiene con la infraestructura existente.

2.1.3. Especificaciones del Escenario “Renovables Solar”

En este escenario el sector Demanda se mantiene con las premisas impuestas para el escenario Tendencial o BAU. No obstante, se tomaron ciertas consideraciones en el sector Transformación en lo que respecta a la incorporación de centrales de generación de energía eléctrica provenientes de fuente renovables de energía, particularmente energía solar utilizando tecnología fotovoltaica (Solangib, K.H. et al, 2011). Para ello se consideró la incorporación de los parques fotovoltaicos adjudicados en territorio de la provincia de Mendoza en las distintas ediciones del Programa Renovar, fruto de la reglamentación del Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción. Allí se establece que los Grandes Usuarios del Mercado Eléctrico Mayorista (GUMEs) y las Grandes Demandas que sean Clientes de los Prestadores del Servicio público de Distribución o de los Agentes Distribuidores, con demandas de potencia iguales o mayores a trescientos kilovatios (300 kW) deberán cumplir efectiva e individualmente con los objetivos de autogenerar o contratar la compra de energía proveniente de diferentes fuentes renovables de generación a fin de cumplir con lo prescripto en la Ley 27.191 (MINIME, 2015) y en el Decreto 531/2016 (MINEM, 2016).

Para modelar este escenario se consideran los siguientes parámetros técnicos. Se supone que la participación de las fuentes renovables de energía en la matriz eléctrica se incrementará según el escalonamiento propuesto en el Artículo N° 8 de la ley antes mencionada para poder así satisfacer dichas contrataciones de compra suponiendo que ninguno de los usuarios mencionados se autogenera la obligación. Es decir, que los incrementos de potencia se harán en los siguientes porcentajes al 31 de diciembre de los siguientes años: 8% en 2017, 12% en 2019, 16% en 2021, 18% en 2023 y 20% en 2025. Ahora bien, si consideramos sólo la potencia total adjudicada en solar fotovoltaica al 31 de diciembre de 2017, de 193,90 MW (MINEM, 2016; MINEM, 2017) y que se corresponde con el 8% establecido, entonces los sucesivos incrementos de potencia en generación renovable solar fotovoltaica serían: 96,96 MW para el 2019 y 2021, y 48,48 MW para el 2023 y 2025, esto se modeliza incorporando en el parámetro Capacidad Exógena (Exogenous Capacity) el cual se utiliza para reflejar la capacidad existente así como las adiciones y retiros de capacidad planificados/comprometidos, se materializa a través de una función escalón (Step) escrita en LEAP de la siguiente manera Step(2018; 193,9; 2020; 290,85; 2022; 387,80; 2024; 436,28; 2026; 484,75). Al mismo tiempo se parametriza la Capacidad Endógena (Endogenous Capacity), la cual es la capacidad que calcula internamente LEAP para mantener un margen de reserva mínimo planificado (30% para esta simulación). Las adiciones de capacidad endógena se producen, además del nivel exógeno de capacidad especificado en la

¹ El Producto Bruto Geográfico (PBG) es un indicador sintético del esfuerzo productivo realizado en el territorio provincial y es equivalente a lo que, a nivel del país en su conjunto, se conoce como Producto Bruto Interno (PBI).

Capacidad Exógena, en centrales modulares de 48,48 MW, ya que este es el último valor incremental que se daría por lo reglamentado en la Ley 27.191. Al incorporar sólo centrales solares fotovoltaicas como plantas de expansión del sistema de generación, el modelo satisfará la Demanda adicionando sólo este tipo de centrales y no otras.

Por otro lado, el Rendimiento (Efficiency) de las instalaciones fotovoltaicas se toma realizando una interpolación entre lo normalizado para los fabricantes de módulos fotovoltaicos por la norma IEC 61215-2005: Crystalline Silicon Terrestrial Photovoltaic (PV) Modules - Desing Qualification and Type Approval, en condiciones STC (Standard Test Conditions): 1.000 W/m² de irradiancia, 25°C de temperatura de célula, espectro AM 1.5g conforme a IEC 60904-1:2006, reducción media de la eficiencia relativa de 3,3% a 200 W/m² según IEC 60904-1-1: 2017. Particularmente para esta modelación se considera una eficiencia del módulo de 16,5%, la cual debe mantenerse como mínimo al 90% de ese valor durante los primeros 10 años de funcionamiento (hasta el 31 de diciembre del 2027) y al 80% durante los próximos 15 años de vida (hasta el 31 de diciembre del 2042), esto se representa en LEAP mediante una función de crecimiento (Growth) escrita con los siguientes parámetros técnicos GrowthFromYear(2027; -10%; 2042; -20%).

Otro de los parámetros técnicos incorporados en el modelo es la Disponibilidad Máxima del proceso de generación de energía (Maximum Availability), la cual es la relación entre la energía máxima producida y la que se habría producido si el proceso se ejecutara a plena capacidad durante un período determinado (expresado como un porcentaje). Para esta modelación la cual sólo contempla la incorporación de tecnologías fotovoltaicas se toma el valor de Disponibilidad Máxima en función de los días del año con sol y con cielo parcialmente nublado para la provincia de Mendoza, los cuales alcanzan aproximadamente al 83% del año, correspondiendo sólo un 17% a los días anuales con cielo completamente nublado (SMN, 1992; Deis, L. et al, 2015; Albiol, C. I., 2011). Otro parámetro técnico a considerar en LEAP es el Orden de Mérito (Merit Order) el cual indica el orden en el que se despachará cada tipo de central de generación de energía. Los procesos con el Orden de Mérito de valor más bajo se despachan primero (generación de base) y los que tienen el Orden de Mérito más alto se despachan en último lugar (generación de punta), para esta simulación la generación fotovoltaica tiene asignado un Orden de Mérito de 2 (dos).

3. RESULTADOS

Luego de la parametrización del modelo LEAP con la información y los parámetros técnicos antes descriptos, se pueden obtener los siguientes resultados.

En la Figura 1 se observa la proyección de la demanda de energía eléctrica al año 2040, presentada su evolución cada 2 años. Allí puede apreciarse que el sector Residencial es el de mayor participación. De aquí puede mencionarse, que sólo tomando acciones de incorporación de centros de generación de energía eléctrica no es suficiente como medida para alcanzar un futuro más sustentable.

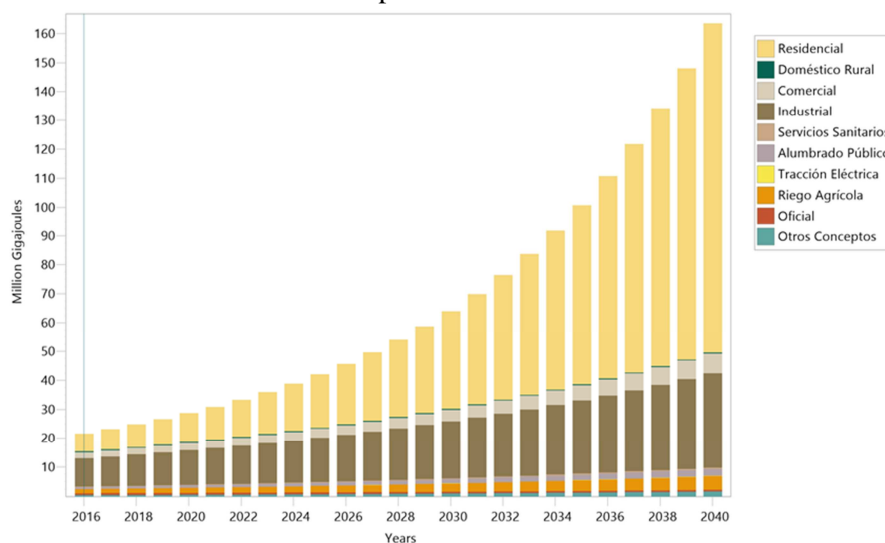


Figura 1: Proyección de la Demanda al año 2040. Provincia de Mendoza

Luego en la Figura 2 puede observarse la Demanda de energía eléctrica desagregada por tipo de usuario en su evolución cada 5 años, terminando la proyección en el año 2040.

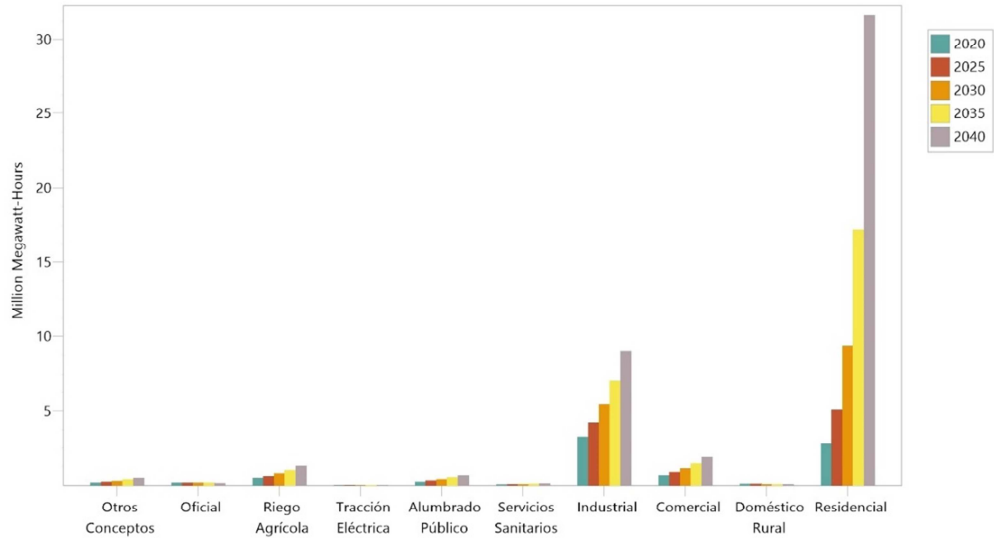


Figura 2: Desagregación de la Demanda. Evolución cada 5 años.

En la Figura 3 puede observar la proyección de generación de energía eléctrica, donde como se había mencionado anteriormente, por ser una simulación reducida y por sólo haber parametrizado que el sistema puede ampliarse incorporando centrales fotovoltaicas, éste intenta abastecer la demanda con energía eléctrica proveniente de dicha fuente.

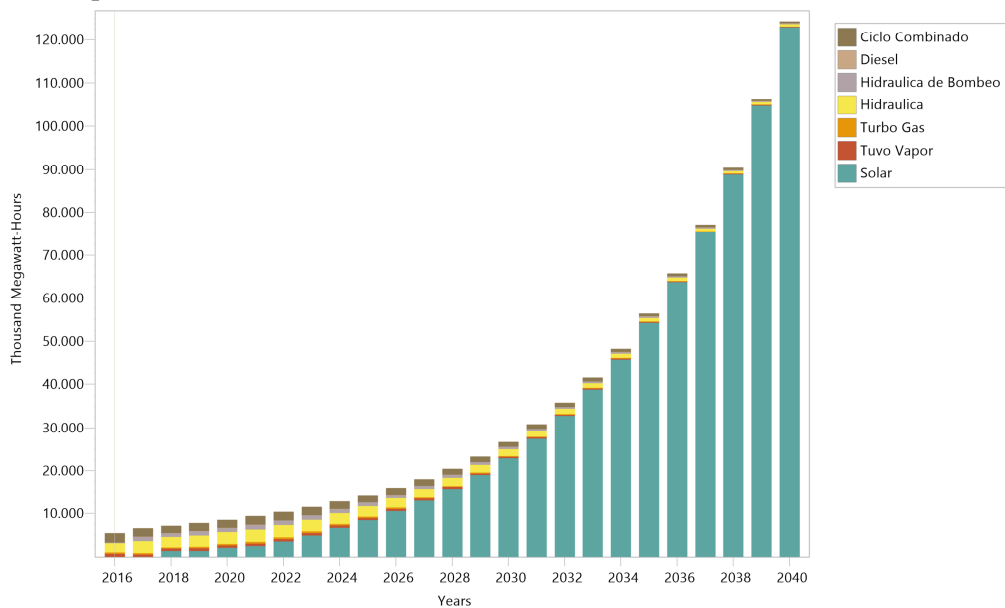


Figura 3: Proyección de Generación de Energía Eléctrica. Evolución anual al año 2040.

En la Figura 4 puede observarse la proyección de las emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂) del sistema de generación planteado en esta simulación. Como sería de esperar, al no incorporarse centrales de generación que funcionan con combustibles fósiles, sino por el contrario sólo se agregan centrales de energía renovable como la solar fotovoltaica, las emisiones de dióxido de carbono son decrecientes conforme pasa el tiempo. La obtención de este resultado se logra incorporando a todos los procesos de generación de energía, los factores de emisión correspondientes a base de datos del IPCC Tier 1 Default Emissions Factors.

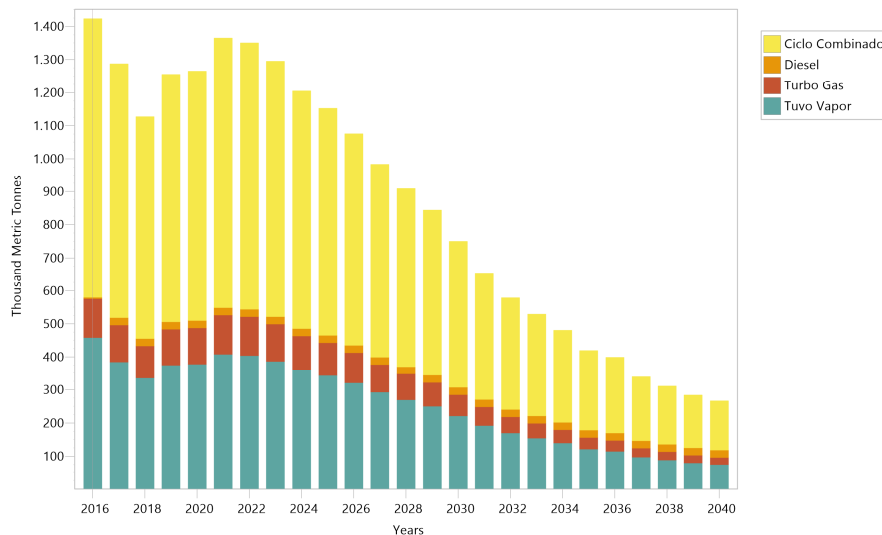


Figura 4: Proyección de Emisiones de Dióxido de Carbono de la Generación de Energía Eléctrica. Evolución anual al año 2040.

En la Figura 5 puede observarse la comparación de las emisiones de Dióxido de Carbono del sector de generación de energía eléctrica entre el escenario Tendencial o BAU y el escenario Renovables Solar.

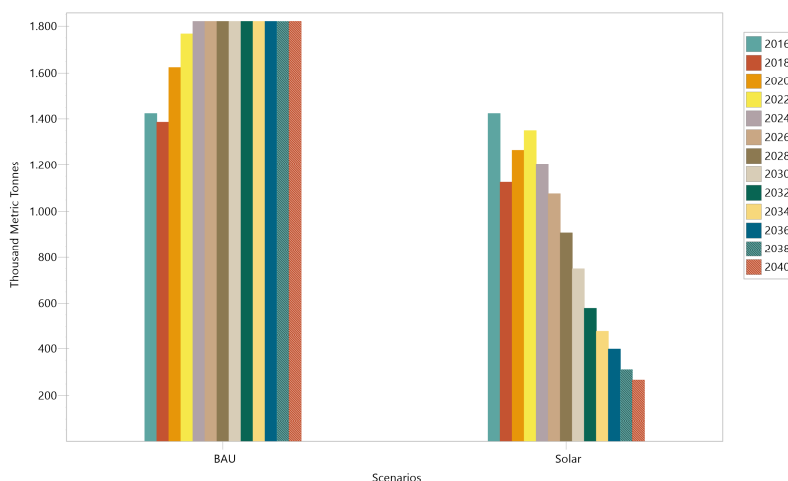


Figura 5: Comparación de Emisiones de Dióxido de Carbono de la Generación de Energía Eléctrica entre los escenarios Tendencial y Renovables Solar. Evolución anual cada 2 años.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Con esta simulación a escala regional se espera, teniendo un mejor acceso a los datos regionales, que se puedan modelar mejor las características locales que con los modelos a escala nacional, resultando esto en posibles acciones de planificación energética que demuestren una cabal comprensión de las particularidades socio-económicas y energéticas propias de una región como puede ser una provincia como la de Mendoza. Sin embargo, se debe tener precaución en cómo los modelos a escala regional pasan por alto ciertos efectos nacionales o si se quiere globales, tales como las importaciones/exportaciones de energía y las acciones globales de mitigación, que están mejor cubiertos por simulaciones a escala nacional.

Por otro lado, las proyecciones alcanzadas tienen claras limitaciones causadas no solo por los complejos procesos dinámicos simulados de manera simplificada y reducida como el desarrollo demográfico y económico, el cambio tecnológico y las políticas climáticas, sino también por las suposiciones subyacentes realizadas.

En conclusión, para que Argentina, y en consecuencia Mendoza, logren un desarrollo con bajas emisiones de carbono, es importante para el país explorar diversas opciones de políticas relacionadas con la reducción de la demanda de energía eléctrica y las emisiones de GEI a través de energías

renovables. Sin embargo, no se espera que sea fácil lograr un desarrollo con estas características, ya que no se pueden ignorar algunos desafíos. Por ejemplo, la mayor difusión de electrodomésticos electro-dependientes más eficientes, el re-cambio de luminarias por tecnología LED y el uso de otras tecnologías de energía renovables en Argentina ha resultado ser un desafío para el gobierno, debido al alto costo de las tecnologías para los consumidores en el lado de la demanda. Por el lado de la oferta, el costo de la energía renovable sigue siendo muy alto, ya que requiere una gran inversión de capital, y esto aumenta la preferencia por los combustibles fósiles como el gas natural. Esto podría solucionarse si el gobierno implementa algunos incentivos fiscales y excepciones a las importaciones de tecnología de energía renovable, subsidios y préstamos para la compra de tecnologías que utilizan energía renovable y la concientización pública para aumentar el interés en el beneficio de este tipo de tecnologías.

Finalmente, como se mencionó inicialmente y vale la pena resaltarlo, la planificación energética no es un evento circunstancial, sino que es un proceso continuo, atendiendo a que los insumos de toda planificación energética tienen un cierto nivel de incertidumbre al momento de realizar el plan energético consecuente. Es por ello que deben ser realizadas revisiones periódicas a medida que se procesa nueva información, adaptando el plan a la resolución menos parcial de las variables inciertas. Es importante planificar el sistema energético, pero es aún más importante que el sistema energético opere conforme a lo establecido en el plan.

No es necesario mencionar que los impactos de las actividades de investigación en materia energética serán cuantificados, ahora y en el futuro, no sólo por cómo contribuyen a las bases de la ciencia y la tecnología en la transformación del sistema energético a mediano y largo plazo, sino también por cómo ayudan a desarrollar la infraestructura energética de hoy en día, intentando alcanzar menores costos, una mayor seguridad y menor impacto ambiental hacia las próximas décadas.

6. REFERENCIAS

- Gargiulo, M. & Gallachóir, B. (2013). Long-term energy models: Principles, characteristics, focus, and limitations. *WIREs Energy and Environment*, 2(2), 158–177.
- Suganthi, L. & Samuel, A. (2012). Energy models for demand forecasting—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(2), 1223-1240.
- Hirth, L. (2013). The market value of variable renewables: The effect of solar wind power variability on their relative price. *Energy economics*, 38, 218-236.
- Keirstead, J., Jennings, M., & Sivakumar, A. (2012). A review of urban energy system models: Approaches, challenges and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 3847-3866.
- Evans, J. & Hunt, L. C. (2009). *International Handbook on the Economics of Energy*. Jaccard, M. (Ed.), Combining top down and bottom up in energy economy models (pp. 311-331). Cheltenham, UK: Edward Elgar
- Tito Murgia y Asociados (1981). *Planeamiento energético global de largo plazo*. Provincia de Entre Ríos. Buenos Aires, ARG: IDEE - Fundación Bariloche
- Secretaría de Energía de la Nación y Gobiernos Provinciales de Chaco, Corrientes, Entre Ríos, Formosa, Misiones, Santa Fe; IDEE y CCE. (1990). *Programa de Estudios Energéticos Regionales. Estudio energético integral del Noreste Argentino. Diagnóstico energético*. Buenos Aires, ARG: IDEE - Fundación Bariloche
- Instituto Regional de Estudio sobre Energía (2007). *Matriz Energética Provincia de Mendoza*. Mendoza, ARG: UTN-FRM
- Connolly, D., Lund, H., Mathiesen, B. V., & Leahy, M. (2010). A review of computer tools for analysing the integration of renewable energy into various energy systems. *Applied energy*, 87(4), 1059-1082.
- Perwez, U., Sohail, A., Hassan, S. F., & Zia, U. (2015). The long-term forecast of Pakistan's electricity supply and demand: An application of long range energy alternatives planning. *Energy*, 93, 2423-2435.
- Huang, Y., Bor, Y. J., & Peng, C. Y. (2011). The long-term forecast of Taiwan's energy supply and demand: LEAP model application. *Energy policy*, 39(11), 6790-6803.

- 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.
- Emodi, N. V., Emodi, C. C., Murthy, G. P., & Emodi, A. S. A. (2017). Energy policy for low carbon development in Nigeria: A LEAP model application. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 247-261.
- Sadri, A., Ardehali, M. M., & Amirnekoeei, K. (2014). General procedure for long-term energy-environmental planning for transportation sector of developing countries with limited data based on LEAP (long-range energy alternative planning) and EnergyPLAN. *Energy*, 77, 831-843.
- Subsecretaría de Energía Térmica, Transporte y Distribución de Energía Eléctrica. Secretaría de Energía Eléctrica. Ministerio de Energía y Minería de la Nación (2016). Informe Estadístico del Sector Eléctrico 2016. (pp. 1-37). Buenos Aires, ARG: MINEM
- Solangib, K.H., Islamb, M.R., Saidura, R., Rahimb, N.A., Fayazb, H. (2011). A review on global solar energy policy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(4), 2149-2163.
- Ministerio de Energía y Minería de la Nación. Ley N° 27.191: Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica.
- Ministerio de Energía y Minería de la Nación. Decreto 531/2016: Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción de Energía Eléctrica. Reglamentación.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos – INDEC. Censos Nacionales de Población: 1970, 1980, 1991, 2001.
- Ministerio de Energía y Minería de la Nación – Subsecretaría de Energías Renovables (2016). RenovAr – Ronda 1.5: Adjudicación de Proyectos.
- Ministerio de Energía y Minería de la Nación – Subsecretaría de Energías Renovables (2017). RenovAr – Ronda 2: Adjudicación de Proyectos.
- IEC 61215-2005. Crystalline Silicon Terrestrial Photovoltaic (PV) Modules - Desing Qualification and Type Approval.
- IEC 60904-1:2006. Photovoltaic devices - Part 1: Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics.
- IEC 60904-1-1:2017. Photovoltaic devices - Part 1-1: Measurement of current-voltage characteristics of multi-junction photovoltaic (PV) devices.
- SMN (1992) Estadísticas climatológicas 1981-1990 serie b n° 37 - Fuerza Aérea Argentina comando de regiones aéreas. Servicio Meteorológico Nacional. Buenos Aires.
- Deis, L. & Rosas M. I. (2015). Impacto del cambio climático en Mendoza. Variación climática en los últimos 50 años. *Mirada desde la fisiología de la vid.* 47(1): 67-92. FCA UNCUYO. ISSN impreso 0370-4661.
- Albiol, C. I. (2011). Análisis de las precipitaciones de Mendoza entre 1970 y 2010: variabilidad, tendencia y comportamiento cíclico.

ABSTRACT

The prospective exercise as a tool to picture different scenarios used in the energy sector, is not intended to make a detailed forecast of the future or generate detailed responses to energy issues, but it allows to identify those critical aspects that affect or that may condition the energy evolution of a region. This work evaluates, by using the Long-range Energy Alternatives Planning (LEAP) model, a reduced simulation projected to the year 2040 of the socio-economic and energy systems of the province of Mendoza. As a consequence of the growth levels of Residential demand in the first instance, followed by the growth of the PBG of the Industrial sector, it is necessary to penetrate even more than the planned generation of electric energy from solar photovoltaic sources. Cautiousness must be taken when modeling at a regional scale, since certain national or international socio-political and economic effects may be partial in the scalar reduction.

Keywords: energy prospective, renewable sources, modeling, simulation.